

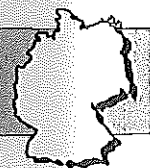
Monographien

Energieverbrauchsstrukturen im Sektor Haushalte

S. Kolmetz
L. Rouvel

KARUS

Instrumente für
Klimagas-Reduktionsstrategien



Forschungszentrum Jülich GmbH
Programmgruppe Technologiefolgenforschung

Energieverbrauchsstrukturen im Sektor Haushalte

Sven Kolmetz
Lothar Rouvel

Technische Universität München

Monographien des Forschungszentrums Jülich

Band 17/1995

ISSN 0938-6505 ISBN 3-89336-158-8

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Kolmetz, Sven:

Energieverbrauchsstrukturen im Sektor Haushalte : [IKARUS, Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien, Abschlussbericht Teilprojekt 5 "Haushalte und Kleinverbraucher", Sektor "Haushalte"] / Sven Kolmetz; Lothar Rouvel. Forschungszentrum Jülich GmbH, Programmgruppe Technologiefolgenforschung. [Hrsg.: Forschungszentrum Jülich GmbH, Zentralbibliothek]. - Jülich : Forschungszentrum, Zentralbibliothek, 1995

(Monographien des Forschungszentrums Jülich ; Bd. 17)

ISBN 3-89336-158-8

NE: Rouvel, Lothar.; Forschungszentrum <Jülich>: Monographien des Forschungszentrums ...

Herausgeber: Forschungszentrum Jülich GmbH
Programmgruppe Technologiefolgenforschung (TFF)

Vertrieb: Forschungszentrum Jülich GmbH
ZENTRALBIBLIOTHEK
D-52425 Jülich
Telefon (02461) 61-5368 · Telefax (02461) 61-6103

Druck: Graphische Kunstanstalt Dieter Gehler, Düren-Birkesdorf

Copyright: Forschungszentrum Jülich 1995

Monographien des Forschungszentrums Jülich, Band 17

ISSN 0938-6505

ISBN 3-89336-158-8



Abschlußbericht Teilprojekt 5
„Haushalte und Kleinverbraucher“, Sektor „Haushalte“

Energieverbrauchsstrukturen im Sektor Haushalte

Sven Kolmetz
Lothar Rouvel

Technische Universität München

IKARUS – Ein Entwicklungsvorhaben des Forschungszentrums Jülich
im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung, Wissen-
schaft, Forschung und Technologie (ehemals BMFT), Bonn

Projektleitung:
Programmgruppe Technologiefolgenforschung (TFF) des Forschungszentrums Jülich

Die Arbeiten wurden im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung,
Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF, ehemals BMFT) unter
dem Kennzeichen ET9188A durchgeführt.
Die Veröffentlichung erfolgt mit Zustimmung des Auftraggebers.
Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Der Bericht wurde im Februar 1995 fertiggestellt.

Koordinator Teilprojekt 5 „Haushalte und Kleinverbraucher“:
Prof. Dr.-Ing. habil. L. Rouvel
Projektbearbeiter: Dipl.-Phys. S. Kolmetz

Technische Universität München

Vorwort der Projektleitung

Die nachhaltige Reduktion von Klimagasemissionen, die mit der Erzeugung, Umwandlung und Nutzung von Energie verbunden sind, wird zusehends zu einer immer wichtigeren Aufgabe der Energie- und Umweltpolitik. Zur Lösung dieser Aufgabe sind unterschiedliche Strategien denkbar. Ziel des IKARUS-Projektes (Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien) war es, ein Instrumentarium bereitzustellen, mit dem Strategien unter gedanklicher Nutzung unterschiedlicher Technologien entwickelt und nachvollzogen sowie auf ihre innere Widerspruchsfreiheit getestet und ihre ökonomischen Auswirkungen hin untersucht werden können.

Entsprechend der großen Komplexität der Aufgabenstellung und der technologischen Vielfalt der Energieanwendungen ist das Instrumentarium sehr umfangreich. Es besteht aus zwei Teilen: einer Datenbank mit umfassender Datensammlung und mehreren Computermodellen unterschiedlicher Art.

Die relationale **Datenbank** in ORACLE mit graphischer Oberfläche hat eine Doppelfunktion als Versorger der Modelle und als unabhängig nutzbares Informationssystem. Sie gliedert sich in Technikdatenbank, Modelldatenbank und Rahmendatenbank. Die Daten wurden in sechs Daten-Teilprojekten für das Ausgangsjahr 1989 erhoben und für die Jahre 2005 und 2020 geschätzt. Die **Technikdatenbank** enthält technische, wirtschaftliche und ökologische Daten repräsentativer Techniken von der Primärenergiegewinnung bis zur Endenergienutzung, ergänzt durch Kommentare, Graphiken, Strukturschemata und Kennlinienfelder. Durch ein Bewertungsschema wird die Belastbarkeit der Angaben dargestellt und kommentiert, so daß entsprechend der Zielsetzung eine nachvollziehbare, konsensfähige und umfassende Grundlage für Strategiediskussionen bereitsteht. Neben den Einzeltechniken wurden aggregierte "Mischtechnik"-Daten als Eingangsdaten für das unten genannte Optimierungsmodell erzeugt und in der **Modelldatenbank** abgespeichert. Um diese Aggregation im Hinblick auf die Optimierung des Energieversorgungs- und -nutzungssystems ausreichend flexibel zu gestalten, werden dem Nutzer einige, dem Optimierungsmodell vorgelagerte, in den Daten-Teilprojekten entwickelte Aggregationstools zur Verfügung gestellt, die in die Oberfläche der Datenbank integriert sind. Die **Rahmendatenbank** schließlich enthält exogene Größen der Modelle wie Nachfragen nach Energiedienstleistungen, Einsatzgrenzen und Bestandsdaten für Techniken sowie Hintergrundinformationen für Gestaltung von Nutzereingaben und Deutung von Modellergebnissen.

Kernstück der entwickelten Modelle ist ein technikorientiertes, lineares **Optimierungsmodell**, das den Energiefluß in der Bundesrepublik Deutschland mittels ca. 2000 (aggregierten) Techniken abbildet. Das "Platzhalterkonzept" des Modells ermöglicht den Austausch dieser Techniken. Für die Stützjahre 2005 und 2020 ermittelt das Modell kostenoptimale energietechnische Strukturen unter vorgegebenen Randbedingungen, z.B. untere und obere Einsatzgrenzen von Techniken und vor allem Obergrenzen für Emissionen. - Zur Überprüfung der volkswirtschaftlichen Verträglichkeit der Modellergebnisse sowie zur Bereitstellung von Rahmendaten der Wirtschaftsentwicklung dient das **Makroökonomische Informationssystem MIS**. - Ein Simulationsmodell gestattet den Vergleich von **Energietechnik-Ketten**, die eine bestimmte vorgegebene Energiedienstleistung erbringen. Sektorspezifische **Simulationsmodelle für "Raumwärme", "Strom und Fernwärme", "Verkehr" sowie "Industrie und Kleinverbraucher"** werden sowohl für detaillierte Untersuchungen im jeweiligen Bereich als auch (neben den erwähnten Tools) für die Herstellung der aggregierten Techniken im Optimierungs- und Kettenmodell eingesetzt.

Als Bindeglied zwischen dem nationalen Projekt und dem internationalen Umfeld wurde das Vorhaben "**Verifikation**" in IKARUS integriert, mit dem Techniken und Verfahren zur Überprüfung der Vertragstreue der Staaten untersucht werden, die Mitglieder der Klimakonvention sind.

Auftragnehmer des BMBF war das Forschungszentrum (KFA) Jülich, das zwei der Teilprojekte und das Projektmanagement durchführte. Für die übrigen Arbeiten waren Unteraufträge vergeben worden. Neun gleichberechtigte Partner trugen in "Teilprojekten" mit mehr als 50 Unterauftragnehmern zur IKARUS-Entwicklung bei. Die neun Teilprojekte, ihre verantwortlichen Institutionen und Arbeitsbereiche sind:

Teilprojekt 1:

Forschungszentrum (KFA) Jülich, Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE): Modellentwicklung - Optimierungsmodell mit makroökonomischer Einbettung, Kettenmodell, Teilmodelle Raumwärme, Strom und Fernwärme, Verkehr.

Teilprojekt 2:

Fachinformationszentrum (FIZ), Karlsruhe: Datenbank - Konzeption und Programmierung.

Teilprojekt 3:

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin: Primärenergie - Gewinnung fossiler Energieträger im Inland, Außenhandel mit Energieträgern, erneuerbare Energiequellen.

Teilprojekt 4:

Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart: Energieumwandlung, -speicherung, -transport und -verteilung.

Teilprojekt 5:

Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik, Technische Universität München: Haushalte und Kleinverbraucher - Raumwärme, Haushaltsgeräte, Prozeßwärme.

Teilprojekt 6:

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe: Industrie - energieintensive Einzeltechniken, Branchen, Sparten. Teilmodell Industrie und Kleinverbraucher.

Teilprojekt 7:

Technischer Überwachungsverein (TÜV) Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH, Köln: Personen- und Güterverkehr auf Straße, Schiene, zu Wasser und in der Luft.

Teilprojekt 8:

Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), München: Querschnittstechniken - sektor- und branchenübergreifende Techniken zur Energieumwandlung.

Teilprojekt 9:

Forschungszentrum (KFA) Jülich, Programmgruppe Technologiefolgenforschung (TFF): Verifikationsmaßnahmen im Rahmen der internationalen Klimakonvention.

Die im Projekt erarbeiteten Berichte können seit Sommer 1994 über die Zentralbibliothek des Forschungszentrums (KFA) Jülich erworben werden. Damit soll einerseits dem Gesichtspunkt der allgemeinen Verfügbarkeit abgesicherter Daten Rechnung

getragen und andererseits auch denjenigen, die nur an eng begrenzten Teilbereichen interessiert sind, der Zugang zu den Arbeitsergebnissen eröffnet werden.

Nach Fertigstellung wird das Instrumentarium auf CD-ROM durch das Forschungszentrum (KFA) Jülich und das Fachinformationszentrum Karlsruhe (FIZ) (nur Datenbank) vertrieben. Aktualisierte Versionen sind zunächst für 1997 und 1999 vorgesehen. Für die Nutzer des Instrumentariums und sonstige Interessenten werden Informationen, Schulung und thematisch vertiefende Diskussionsveranstaltungen angeboten.

G. Stein, Projektleitung IKARUS

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Vorwort | 1 |
| 1. Zusammenfassung zum Überblick | 3 |
| 2. Aufgabenstellung | 11 |
| 3. Methodisches Vorgehen und Datenaspekte | 13 |
| 3.1.1. Heizwärmebedarf von Wohngebäuden | 14 |
| 3.1.2. Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung in Wohngebäuden | 40 |
| 3.1.3. Endenergiebedarf für Haushaltsgeräte | 52 |
| 3.2. Strukturierung der Daten im Hinblick auf die ORACLE-Datenbank | 57 |
| 3.3. Eingriffsmöglichkeiten mittels Tools | 58 |
| 3.4. Prinzipielle Struktur des LP-Modells für den Sektor Haushalte | 61 |
| 4. Die heutige energiewirtschaftliche Situation im Sektor Haushalte | 64 |
| 4.1. Endenergiebedarf und Emissionen für Raumwärme und Warmwasser- bereitung, alte Bundesländer, 1989 | 64 |
| 4.1.1. Beheizungsstruktur | 64 |
| 4.1.2. Effizienz des Wärmeerzeugerbestandes | 70 |
| 4.1.3. Hochrechnung des Endenergiebedarfs | 72 |
| 4.1.4. Vergleich mit der Energiebilanz | 75 |
| 4.1.5. Emissionen vor Ort | 76 |
| 4.2. Endenergiebedarf und Emissionen für Raumheizung und Warmwasser- bereitung, neue Bundesländer, 1989 | 79 |
| 4.2.1. Beheizungsstruktur | 79 |
| 4.2.2. Effizienz der Wärmeerzeuger | 82 |
| 4.2.3. Hochrechnung des Endenergiebedarfs | 84 |
| 4.2.4. Emissionen vor Ort | 85 |
| 4.3. Haushaltsgeräte | 88 |
| 5. Die Entwicklung der energiebedarfsbestimmenden Größen für die Zieljahre 1989, 2005 und 2020 | 97 |
| 5.1. Abgang von Wohnflächen, alte Bundesländer | 97 |
| 5.2. Zugang von Wohnflächen (Neubautätigkeit), alte Bundesländer | 98 |
| 5.3. Entwicklung der Wohnflächen in den neuen Bundesländern | 103 |
| 5.4. Bestimmung der Nachfragevektoren für das LP-Modell | 105 |
| 6. Energieeffizienz und -substitutionspotentiale | 108 |
| 6.1. Einsparpotential durch Maßnahmen an der Gebäudehülle | 108 |
| 6.1.1. Beschreibung der Einzelmaßnahmen | 108 |
| 6.1.2. Kombination von Maßnahmen zur Heizwärmeeinsparung | 115 |
| 6.1.3. Weitergehende Maßnahmen | 124 |
| 6.1.4. Heizwärmeeinsparpotential in den neuen Bundesländern | 129 |
| 6.1.5. Einsparpotential im Neubaubereich | 133 |

| | |
|---|-----|
| 6.1.6. Ökonomische Bewertung von Einsparmaßnahmen an der Gebäudehülle | 136 |
| 6.1.7. Volkswirtschaftliche Auswirkungen | 140 |
| 6.2. Einsparpotential durch Maßnahmen am Heizungssystem | 145 |
| 6.2.1. Einfluß der Überdimensionierung | 145 |
| 6.2.2. Verteilungssysteme | 148 |
| 6.2.3. Quervergleich konventioneller, zentraler Wärmeerzeuger | 153 |
| 6.2.4. Quervergleich konventioneller und nichtkonventioneller Wärmeerzeuger | 158 |
| 6.2.4.1. Jahresenergieverbrauch | 158 |
| 6.2.4.2. Kohlendioxid Emissionen vor Ort | 161 |
| 6.2.4.3. Investitionen und Kapitalkosten für die Raumheizung | 164 |
| 6.2.5. Alternativen zur Braunkohleheizung in den neuen Bundesländern | 168 |
| 6.3. Haushaltsgeräte | 174 |
| 7. Nutzungs- und Verarbeitungsmöglichkeiten der Daten des Haushaltssektors | 188 |
| 8. Schlußfolgerungen und Ausblick | 197 |
| 9. Literaturverzeichnis | 198 |
| Anhang - Liste der von TP 5 im Rahmen von IKARUS erstellten Berichte | 205 |

Vorwort zu Teilprojekt 5

Aufgabe von Teilprojekt 5 (TP 5) im Rahmen des IKARUS-Projektes ist die Strukturierung der Sektoren **Haushalte und Kleinverbraucher** und die Bewertung dort eingesetzter Technologien hinsichtlich Energieverbrauch, Kosten und Emissionen. Veränderungen sollen anhand von Indikatoren (z.B. Wohnfläche, Personenbelegung, Beschäftigte) beschrieben und spezifische energierelevante Kennwerte ermittelt werden.

Die von TP 5 erarbeiteten Daten sollen in geeigneter Form in einer **Datenbank** des Fachinformationszentrums (FIZ) Karlsruhe, TP 2, gespeichert werden. Von dort werden sie zum einen einem interessierten Nutzerkreis, zum anderen als Eingangsdaten für Computermodelle zur Verfügung gestellt.

Vom Forschungszentrum (KFA) Jülich - STE, TP 1 - wird ein gesamtwirtschaftliches Modell (**LP-Modell**) entwickelt, mit dem der Einsatz energierelevanter Technologien nach Kosten und CO₂-Minderungspotential optimiert werden kann. Desweiteren wird von TP 1 mit Unterstützung von TP 5 ein Teilmodell **Raumwärme** programmiert, mit dem haushaltsspezifische Fragen detaillierter als mit dem LP-Modell nachgebildet werden können.

Der vorliegende Endbericht umreißt den Stand der Arbeiten nach Abschluß des Projektes für den Sektor **Private Haushalte** im Jahr 1994.

1. Zusammenfassung zum Überblick

Aufgabe von Teilprojekt 5 (TP 5) im Rahmen des IKARUS-Projektes ist die Bereitstellung einer Datenbasis für die Simulation und die energetische, kosten- und emissionsmäßige Beurteilung von Klimagasreduktionsstrategien für die Sektoren **Haushalte** und **Kleinverbraucher**.

Basisjahr für die Betrachtungen ist das Jahr 1989. In diesem Jahr betrug der Anteil des Sektors **Haushalte** am Endenergiebedarf der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer) ca. 25%. Ca. 15% entfielen auf den Sektor **Kleinverbraucher** (ohne Militär). Innerhalb des Sektors **Haushalte** dominiert die Anwendungsart **Raumwärme** mit ca. 76% Anteil, im Sektor **Kleinverbraucher** beträgt deren Anteil immerhin noch ca. 48% /Energiebilanz, 1990/. In den neuen Bundesländern lag dieser Anteil sogar bei ca. 70% (Jahr 1988) /Geiger, 1991/.

Bei der **Raumwärme** handelt es sich folglich um die Energieanwendung mit dem höchsten Anteil am Endenergiebedarf in den von TP 5 betrachteten Sektoren.

Der Endenergiebedarf für die Raumwärme wird zum einen durch den Heizwärmebedarf (Nutzenergiebedarf) der Gebäude, zum anderen durch die Effizienz des Heizsystems bestimmt. Außerdem hat das Nutzerverhalten einen erheblichen Einfluß auf den Energieverbrauch. Um die energetische Relevanz von wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle, von Veränderungen des Nutzerverhaltens und Energieeinsparmaßnahmen am Heizsystem kosten- und emissionsmäßig beurteilen und vergleichen zu können, werden Gebäudehülle einschließlich Nutzerverhalten und Heizsystem zunächst getrennt betrachtet. In einem zweiten Schritt werden die Teilsysteme zu einem Gesamtsystem *Gebäude* verknüpft.

Zur Hochrechnung des **Raumwärmebedarfs** auf volkswirtschaftlicher Ebene muß der Gebäudebestand nach Gebäudegröße, Baualter, wärmetechnischem Standard und Nutzung typisiert werden. Durch eine Typisierung wird der Gebäudebestand mittels einiger weniger Einzeltypen, die energetisch beschrieben werden können, abgebildet. Für diese Einzeltypen werden spezifische Kennwerte (z.B. Heizwärmebedarf pro Quadratmeter Wohnfläche) bestimmt, die mit Bestandsdaten (z.B. Gesamtwohnfläche für die Einzeltypen) hochgerechnet werden können. Insbesondere ökonomische Kennwerte für Energieeinsparmaßnahmen können anhand

von Typgebäuden detailliert ermittelt werden, da die Kosten sehr gebäudespezifisch sind.

Das zur Bereitstellung der Heizwärme benötigte Heizungssystem wird ebenfalls - getrennt nach Heizwärme- und Warmwasserverteilung sowie Wärmeerzeuger - typisiert, d.h. für die verschiedenen Systeme werden energie-, kosten- und emissionsrelevante Kennwerte bzw. Kennlinien angegeben. Das Gebäude, die Heizwärme- und Warmwasserverteilung sowie der Wärmeerzeuger können nahezu beliebig zu einem Gesamtsystem kombiniert werden. Zur Ermittlung des Endenergiebedarfs, der Emissionen und der Investitionen eines solchen Gesamtsystems dient ein am Lehrstuhl entwickeltes Berechnungsprogramm, das in die FIZ-Datenbank als "Tool" integriert ist. Anhand der Beheizungsstruktur kann der Endenergiebedarf und die Vor-Ort-Emissionen hochgerechnet werden. Die Bewertung der vorgelagerten Emissionen wird in den Teilprojekten 3 (Primärenergie) und 4 (Umwandlung) behandelt.

Für den Gebäudebestand in den alten Bundesländern ist vom Institut für Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt, eine Typologie erstellt worden /IWU, 1991/. Die Bestandsdaten (alte Bundesländer) und die Beheizungsstruktur für die alten Bundesländer wurden vom Statistischen Bundesamt (StBA), Wiesbaden, aus den Volkszählungsdaten 1987 aufbereitet /Kolmetz, u.a., 1992/.

Analog zur IWU-Typologie für den Gebäudebestand der alten Bundesländer ist vom Institut für Heizung, Lüftung und Grundlagen der Bautechnik (IHLGB), Berlin für den Wohngebäudebestand der neuen Bundesländer eine Typologie erarbeitet worden /IHLGB, 1991/. Für die neuen Bundesländer wird bezüglich der Beheizungsstruktur auf Arbeiten des Instituts für Energetik, Leipzig /IE, 1991/ zurückgegriffen.

Für den gesamten Neubaubereich hat das Institut für Bauphysik (IBP), Stuttgart eine Typologie erstellt /IBP, 1992b/.

Das Datengerüst für die betrachteten Techniken zur Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser ist von der Forschungsstelle für Energiewirtschaft, FfE im Rahmen von Teilprojekt 8 "Querschnittstechnologien" erarbeitet worden. /FfE, 1993-1994/.

Eine entsprechende Vorgehensweise ist auch für den Teilbereich **Haushaltsgeräte** gewählt worden. Es werden energierelevante Kennwerte durchschnittlicher Geräte in Abhängigkeit von Alter, Herstellungsjahr und Nutzung bestimmt und mit Hilfe des Ausstattungsgrades der Haushalte mit diesen Geräten Hochrechnungen durchgeführt.

Die Hochrechnung für den **Wohngebäudebestand** der alten Bundesländer ergibt einen klimabereinigten Nutzenergiebedarf für Raumwärme für das Jahr 1989 von ca. 334 TWh, der neuen Bundesländer von ca. 68 TWh. Der Endenergiebedarf für Raumwärme ermittelt sich daraus klimabereinigt zu ca. 438 TWh in den alten Bundesländern und zu ca. 121 TWh in den neuen Bundesländern. Für die Warmwasserbereitung wird ein Endenergiebedarf von ca. 71 TWh in den alten und ca. 14 TWh in den neuen Bundesländern bestimmt. Die Haushaltsgeräte tragen in den alten Bundesländern weitere ~78 TWh, in den neuen weitere ~19 TWh zur Energiebilanz bei. Der auf das Jahr 1989 zurückgerechnete Gesamtendenergiebedarf für die alten Bundesländer zeigt nur geringfügige Abweichungen (unter 2%) von der Energiebilanz des Jahres 1989 und stimmt auch mit anderen Untersuchungen (IWU, Enquêtekommission) gut überein. Bei der Berechnung des Endenergiebedarfs der neuen Bundesländer ergibt sich ebenfalls nur eine geringe Abweichung des Raumwärmebedarfs von ca. 2% beim Vergleich mit einer Untersuchung des IE Leipzig /IE, 1991/. Andere Untersuchungen zu Haushaltsgeräten in den neuen Bundesländern sind zur Zeit nicht verfügbar.

Dieser Energiebedarf ist mit lokalen d.h. vor Ort entstehenden CO₂-Emissionen von ca. 115 Mt in den alten und 39 Mt in den neuen Bundesländern für Raumheizung und Warmwasserbereitung im Jahr 1989 verbunden. Die bei der Umwandlung und Exploration entstehenden Emissionen werden bei den Teilprojekten 3 und 4 behandelt.

Aufbauend auf der Analyse des Istzustandes werden in einem weiteren Schritt Energiesparmaßnahmen am Bestand energetisch und kostenmäßig bewertet. Hierzu werden aus einer detaillierteren Untersuchung zu durchschnittlichen Investitionen für Energiesparmaßnahmen insgesamt 23 Einzelmaßnahmen ausgewählt und zu sinnvollen Maßnahmenpaketen zusammengestellt. Durch Simulation dieser Sanierungspakete anhand der Typgebäude können Aussagen zu Einsparpotential und Investitionen getroffen werden.

Bei der kostenmäßigen Beurteilung wird zwischen Gesamtinvestitionen und Zusatzinvestitionen unterschieden. Letztere beziehen sich auf den Anteil der Investitionen, die bei Durchführung der Maßnahme im Renovierungszyklus für erhöhten Wärmeschutz anfallen, d.h. es wird die Differenz zwischen Gesamtinvestitionen und "Sowiesoinvestitionen" gebildet. Sowiesoinvestitionen sind z.B. bei einer Außenwandsanierung die Kosten für Gerüst, Malerarbeiten oder Putzerneuerung. Die Zusatzinvestitionen sind in diesem Beispiel die Kosten für zusätzliche Wärmedämmung.

Die Simulation ergab ein sehr hohes Einsparpotential im Gebäudebestand von bis zu ca. 70% des Heizwärmebedarfs (alte Bundesländer). Dies würde jedoch die Umrüstung des gesamten Gebäudebestandes auf Niedrigenergiehausstandard bedeuten und ließe sich nur unter sehr hohem Investitionsaufwand langfristig vollständig erschließen.

Betrachtet man die Maßnahmen, die bis zum Jahre 2005 im Rahmen sowieso anfallender Renovierungsarbeiten durchgeführt werden können, so erhält man ein realistischeres Bild. Um z.B. eine Energieeinsparung von ca. 15% gegenüber dem Jahr 1989 zu erreichen, wären ca. 117 Mrd. DM Zusatzinvestitionen allein für die alten Bundesländer bis zum Jahr 2005 aufzubringen. Dabei müßten ungefähr 1/3 der Wohnfläche mit Wärmeschutzverglasung, verbesserter Dach- und Außenwanddämmung (12-14 cm Dämmschichtdicke beim Dach, 8 cm Dämmschichtdicke bei der Außenwand) ausgestattet werden. Wollte man mit weniger weitgreifenden Maßnahmen für die Einzelobjekte den gleichen Effekt - Energieeinsparung von 15% - erhalten, würden die Kosten um etwa den Faktor 3 steigen. Diese im ersten Augenblick unverständliche Aussage beruht darauf, daß zum Erreichen der Einsparrate von 15% dann auch an Gebäuden wärmetechnische Maßnahmen durchgeführt werden müßten, die nicht zur Sanierung anstehen. Die gesamten anfallenden Investitionen (Außenputzerneuerung, Gerüst etc.) müßten daher dem zusätzlichen Wärmeschutz zugerechnet werden. Die maximal im Renovierungszylus erreichbare Einsparrate beträgt ca. 22%, wobei dann ca. 1/3 der Wohnfläche auf Niedrigenergiehausstandard verbessert werden müßte. Die Zusatzinvestitionen hierfür betrügen ca. 200 Mrd. DM.

Die für die alten Bundesländer besprochene Maßnahme (Wärmeschutzverglasung, verbesserter Dach- und Außenwanddämmung bei 1/3 der Wohnfläche) würde in den neuen Bundesländern ca. 18% Einsparung bringen, d.h. die gleiche Maßnahme ist aufgrund der schlechteren Bausubstanz in den neuen Bundesländern etwas effektiver. Die Zusatzinvestitionen belaufen sich hierfür auf knapp 17 Mrd. DM.

Wenn man von der Annahme ausgeht, daß in den neuen Bundesländern fast der gesamte Gebäudebestand in den nächsten 15 Jahren saniert werden müßte, dann ist eine Einsparung von ca. 36% durch Einbau von Isolierverglasung in Kombination mit einer Dach- und Außenwanddämmung erreichbar, wobei die Dämmschichtdicke am Dach 6-8 cm und an der Außenwand 8 cm betragen müßte. Die Zusatzinvestitionen errechnen sich hierbei zu 27 Mrd. DM.

Außer Dämmmaßnahmen und Fensteraustausch ist der Anbau eines Wintergartens, der Einbau eines Lüftungssystems mit Wärmerückgewinnung und eine transparente Wärmedämmung untersucht worden. Während das Lüftungssystem vom Einsparpotential und von den Investitionen mit herkömmlichen Dämmmaßnahmen vergleichbar ist, sind die anderen Maßnahmen bei heutigen Energiepreisen extrem unwirtschaftlich.

Um die Typologien zu vervollständigen, werden auch Typgebäude für den Neubau im Wohnbereich vorgestellt, die aber nicht mehr nach alten und neuen Bundesländern unterschieden werden. Es kann gezeigt werden, daß durch verbesserte Baustandards ein beträchtliches Einsparpotential erschlossen werden kann. Da der Zubau neuer Gebäude naturgemäß nur langsam voranschreiten wird, muß jedoch gleichzeitig das Augenmerk vornehmlich auf die Altbausanierung gelegt werden.

Aus den hier dargestellten Ergebnissen wird deutlich, daß das ehrgeizige Ziel einer 25 bis 30%igen Reduktion der CO₂-Emissionen bis zum Jahre 2005 durch Maßnahmen an der Gebäudehülle allein nicht erreicht werden kann. Dies gilt insbesondere unter dem Aspekt, daß seit dem Stichjahr 1989 bereits 5 Jahre vergangen sind, in denen keine forcierten Maßnahmen vom Gesetzgeber vorgeschrieben wurden.

Weitere Maßnahmen durch Wechsel des Energieträgers und Verbesserung der Heizungsanlage sind demnach notwendig.

Hierzu wird ein Vergleich unterschiedlicher Heizsysteme unter besonderer Beachtung der Ablösung der Braunkohleheizungen in den neuen Bundesländern durchgeführt.

Werden alle 1989 in den alten Bundesländern vorhandenen Wärmeerzeuger durch neue Wärmeerzeuger (Stand der Technik, d.h. derzeitige Bestgeräte) ersetzt, erfolgt aufgrund des Wohnflächenzuwachses keine Energieeinsparung für Raumwärme gegenüber dem Jahr 1989, sondern ein Anstieg des Endenergiebedarfs für Raumwärme um ca. 3% - unter der Voraussetzung, daß der Dämmstandard des Gebäudebestandes wärmetechnisch nicht verändert wird. Würden jedoch die alten Wärmeerzeuger beibehalten, käme es zu einem noch größeren Anstieg von ca. 12%. Immerhin ist durch die Erneuerung der Wärmeerzeuger eine Einsparung des Energiebedarfs zur Warmwassererzeugung von ca. 18% zu erwarten. Das unterschiedliche Einsparpotential bei Raumwärme und Warmwasser rührt daher, daß der Warm-

wasserbedarf von der Personenzahl und nicht von der Wohnfläche abhängt. Die Personenzahl wird in den nächsten Jahren voraussichtlich nicht so stark ansteigen wie die Wohnfläche. Wird bei diesen Berechnungen eine andere Bevölkerungs- und Wohnflächenentwicklung zugrundegelegt, so verändern sich die Ergebnisse natürlich entsprechend.

Für den hier betrachteten Austausch der Wärmeerzeuger sind insgesamt ca. 160 Mrd. DM bis zum Jahr 2005 aufzuwenden. Diese Investitionen können allerdings nur bedingt der Energieeinsparung zugeschlagen werden, da bei einer durchschnittlichen Lebensdauer zwischen 15 und 20 Jahren bis zum Jahr 2005 ohnehin ein Großteil der Wärmeerzeuger ausgetauscht werden muß.

Es muß beachtet werden, daß die spezifischen Kosten je nach Energieträger und Heizsystem differieren, d.h. das hier betrachtete Beispiel, bei dem der vorhandene Energieträgermix beibehalten wird, ist sicher nicht realistisch und kann nur Tendenzen veranschaulichen. Für einen detaillierten Technikvergleich sei daher auf das Kapitel 6 dieses Berichtes verwiesen.

Für die neuen Bundesländern wird ebenfalls eine Hochrechnung für das Jahr 2005 durchgeführt, wobei alle Heizsysteme auf den Stand der Technik (d.h. derzeitiger Bestgeräte) gebracht werden, der Energieträgermix von 1989 jedoch im wesentlichen - realistischerweise wird angenommen, daß die große Anzahl an Kohlebadeöfen durch moderne Gas- bzw. Stromwarmwasserbereiter ersetzt werden - beibehalten wird. Als Ergebnis ist wie in den alten Bundesländern kein Einsparpotential bei der Raumheizung und Warmwasserbereitung gegenüber dem Jahr 1989 realisierbar, da die geringe Einsparung bei der Raumheizung durch einen Mehrbedarf bei der Warmwasserbereitung kompensiert wird. Letzterer hat seine Ursache im Austausch der Kohlebadeöfen durch moderne Warmwasserbereiter, die aufgrund des Komfortzuwachses zu einer verstärkten Nutzung veranlassen dürften.

Als weiteres Szenario wird für die neuen Bundesländer angenommen, daß die Fernwärmeheizungen in Ein- und Zweifamilienhäusern aufgrund der Sanierungsbedürftigkeit des Fernwärmenetzes und dem erst langsam voranschreitenden Ausbau des Gasnetzes durch Öl- bzw. - soweit möglich - Gaszentralheizungen ersetzt werden /IE, 1991/. Gleichzeitig werden die Fernwärmeheizungen in Mehrfamilienhäusern saniert und ausgebaut und verdrängen dort die Braunkohleheizung. Diese differierende Entwicklung kommt daher zustande, daß die Sanierung des Fernwärmenetzes in weitläufigen Einfamilienhaussiedlungen spezifisch wesentlich

teurer ist als in Gebieten mit enger Blockbebauung.

Es wird weiterhin davon ausgegangen, daß zum einen aus Kostengründen auch dezentrale Systeme (Elektronachtspeicherheizgeräte, Gaseinzelgeräte) verstärkt eingesetzt werden und zum anderen, daß der Neubau nicht ausschließlich mit Gaszentralheizungen ausgerüstet werden kann, sondern daß auch Ölzentralheizungen zum Zuge kommen. Dieses Szenario läßt ebenfalls keine nennenswerte Heizenergieeinsparungen gegenüber der ersten Variante (gleicher Energieträgermix wie 1989) zu.

Der entscheidende Unterschied zwischen den beiden Szenarien (Beibehaltung des Energieträgermix - Ablösung der Braunkohle) liegt jedoch in den CO₂-Emissionen. Bei gleicher Beheizungsstruktur wie 1989 und verbesserten Wärmeerzeugern ergibt sich eine CO₂-Minderung vor Ort von insgesamt ca. 13% im Jahr 2005, eine Verschiebung der Beheizungsstruktur und gleichzeitige Verbesserung ergibt eine CO₂-Reduktion vor Ort von insgesamt ca. 40%. Die Emissionsminderung im Umwandlungs- und Explorationssektor ist hier noch nicht mit berücksichtigt.

Die Investitionen für die Verbesserung der Wärmeerzeuger in den neuen Bundesländern ergeben sich insgesamt (Raumheizung und Warmwasserbereitung) zu ca. 40 Mrd. DM. Eine komplette Umstellung der Beheizungsstruktur würde mit ca. 125 Mrd. DM zu Buche schlagen, wobei die Investitionen für die Sanierung bzw. den Aufbau der Infrastruktur (Fernwärmenetz, Gasnetz etc.) darin noch nicht enthalten sind. Auch hier gilt, daß die Differenzinvestitionen zwischen den beiden Szenarien nur bedingt der CO₂-Minderung zugerechnet werden dürfen, da es sich im wesentlichen um Investitionen handelt, die sowieso getätigt werden müssen.

Insgesamt läßt sich sagen, daß durch den Austausch der Wärmeerzeuger durch moderne Anlagen innerhalb relativ kurzer Zeit (10-20 Jahre) ein großes CO₂-Einsparpotential wirksam wird, wenn die Anforderungen an neue Anlagen entsprechend dem neuesten Stand der Technik gestellt werden. Da der Austausch sowieso alle ca. 15 Jahre durchgeführt werden muß, fallen keine zusätzlichen Investitionen an.

Die weitestmögliche Ausnutzung von anstehenden Renovierungsmaßnahmen an der Gebäude-

hülle zur zusätzlichen wärmetechnischen Sanierung ist die nächstgünstigste Möglichkeit der Energie- und damit auch CO₂-Einsparung. Maßnahmen die außerhalb des Renovierungszyklus durchgeführt werden müssen, verursachen erhebliche zusätzliche Kosten. Diese Kosten sind besonders hoch, wenn der Wärmeerzeuger vor Ablauf seiner technischen Lebenszeit ausgetauscht wird. Dies kann nur in den neuen Bundesländern angedacht werden, da dort der Anteil braunkohlebefuerter Heizsysteme besonders hoch und das CO₂-Minderungspotential entsprechend groß ist. Das von der Bundesregierung angestrebte CO₂-Minderungsziel von 25-30% kann insgesamt nur durch die Kombination von Maßnahmen an der Gebäudehülle und Erneuerung der Wärmeerzeuger inclusive Energieträgerwechsel erreicht werden.

Bei Endenergieverbrauch für Haushaltsgeräte ist mit einer Stagnation zu rechnen. Dies begründet sich durch die Annahme, daß die Verbesserung der Gerätewirkungsgrade durch den Zuwachs an Haushalten und durch die zusätzliche Anschaffung mit neuen Geräten (Zweitausstattung, Trend zum privaten PC und Fax etc.) kompensiert wird.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß es gelungen ist, ein umfangreiches Instrumentarium zur Analyse des Energiebedarfs im Sektor **Private Haushalte** zur Verfügung zustellen, mit dem der Nutzer einen Großteil der heute denkbaren Einsparmaßnahmen simulieren und vergleichend im Hinblick auf die Effizienz bewerten kann.

Detailfragen werden in den folgenden Kapiteln behandelt:

- Kapitel 3 erläutert die Methodik, insbesondere die verschiedenen Gebäudetypologien.
- In Kapitel 4 ist eine Hochrechnung des Endenergiebedarfs 1989, die mit dieser Methodik durchgeführt wird, vorgestellt.
- Kapitel 5 gibt einen Ausblick, wie sich die energiebedarfsbestimmenden Größen des Haushaltssektors, d.h. die Wohnflächen und die Bevölkerung, bis zum Jahr 2020 unter den in diesem Projekt angenommenen Randbedingungen entwickeln werden.
- In Kapitel 6 erfolgt schließlich eine Bewertung unterschiedlicher Einsparpotentiale sowohl an der Gebäudehülle als auch beim Wärmeerzeuger und bei den Haushaltsgeräten.
- In Kapitel 7 folgen dann Beispiele, welche Daten der Nutzer in der Datenbank findet.

2. Aufgabenstellung

Der Endenergiesektor gliedert sich in die Teilsektoren **Industrie**, **Haushalte**, **Kleinverbraucher** und **Verkehr**. Unter dem Sektor **Haushalte** versteht man die privaten Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland. Dem Sektor **Kleinverbraucher** werden diejenigen Verbrauchergruppen zugerechnet, die keinem anderen Sektor zugeordnet sind. Die Sektoren **Haushalte** und **Kleinverbraucher** haben mit zusammen 39.5 % /Energiebilanz 1989/ den größten Anteil am Endenergieverbrauch in den alten Bundesländern. Während im Industriesektor die Prozeßwärme (70.6%) und im Verkehrssektor die Kraftanwendung (99.8%) den Energieverbrauch dominieren, liegt im Haushaltssektor der Schwerpunkt bei der Raumwärme (75.6%). Die Warmwasserbereitung ist mit einem Anteil von 16.6% am Endenergieverbrauch im Haushaltssektor vertreten. Kraft (6.1%) wird für den Einsatz der Haushaltsgeräte benötigt.

Im Rahmen des BMBF-Projektes "IKARUS - Instrumente für die Entwicklung von Klimagasreduktionsstrategien" wird von Prof. Rouvel an der TU München als Teilprojekt 5 (TP 5) der Bereich "**Endenergie HAUSHALTE UND KLEINVERBRAUCHER**" koordiniert und federführend bearbeitet.

Der Sektor **Haushalte** untergliedert sich in **Raumwärme**, **Warmwasserbereitung** und **Haushaltsgeräte** einschließlich Beleuchtung und Kommunikation. Der Bereich **Raumwärme** teilt sich auf in **Gebäude** und **Heizsystem**.

Ziel dieses Teilprojektes ist die Datenbeschaffung und -analyse zur Quantifizierung des Endenergiebedarfs und der Klimagasemissionen obengenannter Bereiche für die Jahre 1989, 2005 und 2020 für die Bundesrepublik Deutschland unter Berücksichtigung unterschiedlichster Energiesparmaßnahmen. Desweiteren sollen die Kosten dieser Maßnahmen ermittelt werden. Dabei ist zu beachten, daß je nach Durchführung der Maßnahme mit dem oder gegen den Renovierungszyklus unterschiedliche Kosten entstehen.

Die von Teilprojekt 5 erarbeiteten Daten (z.B. energierelevante Kennwerte zur Technikbeschreibung und Bestandsdaten) werden zentral in einer **Datenbank** des Fachinformationszentrums Karlsruhe (FIZ) gespeichert.

Diese Datenbank ist das zentrale Arbeitsinstrument des Projektes. Sie erlaubt bereits die Beantwortung einfacher Fragestellungen wie den Vergleich von Einzeltechniken (Wärmedämmung, Heizkessel) und Technikketten (z.B. Wärmedämmung und neuer Heizkessel) sowie hochgerechneter Ergebnisse. Dazu wird vom FIZ ein menügeführtes Retrieval erstellt.

Weiterhin werden von TP 5 modulare Simulationsprogramme entwickelt, mit denen Verknüpfungen innerhalb der Datenbank und die Daten für das **LP-Modell** (Lineare Programmierung) der STE erstellt werden können und Querschnittsuntersuchungen zur Bewertung von Energiesparmaßnahmen ermöglicht werden. Diese sogenannten "Tools" sind in die Oberfläche der FIZ-Datenbank integriert, so daß der Nutzer einfache Berechnungen direkt mit der ORACLE-Datenbank durchführen kann. Desweiteren wird von der Kernforschungsanlage Jülich KFA-STE (TP 1) ein benutzerfreundliches, ganzheitliches **Teilmodell Raumwärme** entwickelt, das dem Nutzer gestatten soll, die durch die bisher vorgestellten Instrumente nicht beantwortbaren Fragen innerhalb des Sektors Haushalte zu simulieren und als Ergebnis in der Datenbank abzulegen. Die Ausgangsdaten für dieses Teilmodell befinden sich in der Datenbank.

Für die Nachbildung sektorübergreifender sowie volkswirtschaftlicher Einflüsse und die Optimierung von Energiesparmaßnahmen nach Kosten bzw. CO₂-Minderungspotential wird von TP 1 ein **LP-Modell** programmiert. Eingangsdaten für dieses Modell werden von der Datenbank zur Verfügung gestellt.

3. Methodisches Vorgehen und Datenaspekte

Im folgenden wird die methodische Vorgehensweise für die Datenermittlung im Sektor **Haushalte** vorgestellt. Der Sektor Kleinverbraucher wird in einem separaten Bericht im Detail behandelt.

Zunächst soll in Kapitel 3.1.1. die Nutzenergieseite beleuchtet werden, d.h. die Gebäudetypologie und die Berechnung des Heizwärmebedarfs wird erläutert. Im folgenden Kapitel 3.1.2. wird dann die Ermittlung des Endenergiebedarfs und die Typisierung der Heizsysteme dargestellt. Diesem Kapitel folgt die Methodik bei der Bearbeitung der Haushaltsgeräte (3.1.3).

Im Kapitel 3.2. wird die Strukturierung der **ORACLE**-Datenbank aufgezeigt, Kapitel 3.3. gibt Hinweise zu Eingriffsmöglichkeiten (mit Hilfe von Software-Tools) seitens des Nutzers des Instrumentariums zur Beantwortung eigener Fragen und Kapitel 3.4. skizziert kurz die Abbildung der Privaten Haushalte im **LP-Modell**.

3.1.1. Heizwärmebedarf von Wohngebäuden

- Standardbedingungen für die energetische Bewertung

Im folgenden sollen die Grundlagen für die energetische Bewertung der Typgebäude beschrieben werden. Zunächst soll das Bewertungsverfahren, dann die Randbedingungen der klimatischen, bauphysikalischen und nutzerbedingten Einflüsse erläutert werden. Diese Standardbedingungen gelten für alle nachfolgend beschriebenen Wohngebäude. Weitere Details finden sich in Bericht TP 5-11, der im Rahmen der IKARUS-Berichtsreihe erschienen ist.

- Berechnungsverfahren für den Heizwärmebedarf

Da die Gebäudetypologien für Wohngebäude, Nichtwohngebäude und Neubau sowohl für die alten als auch für die neuen Bundesländer von verschiedenen Instituten erarbeitet wurden, muß eine einheitliche Berechnungsgrundlage zur energetischen Bewertung (Heizwärmebedarf) sichergestellt werden. So wird z.B. von Instituten in den neuen Bundesländern z.T. die Gebrauchsenergie statt der Nutzenergie verwendet. Gebrauchsenergie für Raumwärme ist die vom Wärmeerzeuger ins Gebäude eingespeiste Wärme und enthält somit auch die Regelungs- und Verteilungsverluste für das Heizsystem. Außerdem werden unterschiedliche Standardbedingungen und Berechnungsverfahren verwendet.

Zur energetischen Bewertung der Gebäude wurde nach Prüfung und Diskussion verschiedener Berechnungsverfahren das Verfahren nach der europäischen CEN-Norm TC 89 /CEN, 1991; ISO 9164, 1989/ als geeignet ausgewählt. Dieses Berechnungsverfahren beruht auf der monatsweisen Bilanzierung der Wärmeverluste und der verfügbaren Wärmegewinne. Der Ausnutzungsgrad dieser Wärmegewinne wird aus dem Verhältnis der Wärmegewinne zu den Wärmeverlusten und der relativen Wärmespeicherkapazität (Auskühlzeitkonstante) des Gebäudes bestimmt. Aus den Monatswerten werden die Jahreswerte aufaddiert. Nach diesem Verfahren wurde vom IBP Holzkirchen das Softwarepaket "ENERBED" entwickelt und an die Erfordernisse von TP 5 angepaßt /IBP, 1992a/.

- Klima

Als klimatische Voraussetzungen werden der Außentemperaturverlauf und die solaren Einstrahlungsparameter des Testreferenzjahres Würzburg gewählt. Der Referenzort Würzburg spiegelt nach VDI 3807 (Energieverbrauchskennwerte für Gebäude) die mittleren klimatischen Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland unter Berücksichtigung der Bevölkerungsdichte wider.

- Bauphysik

Die Wärmeverluste eines Gebäudes setzen sich aus Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten zusammen. Die Transmissionswärmeverluste der opaken Außenflächen werden vom Wärmedurchgangskoeffizienten k und der Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Raumluft bestimmt. Die k -Werte für die Typgebäude sind von den bearbeitenden Instituten ermittelt oder abgeschätzt und werden von TP 5 für den Ursprungszustand der Typgebäude übernommen. Sofern Daten über nachträglich durchgeführte Dämmmaßnahmen vorliegen, sind Varianten dieser Typgebäude gebildet worden. Aus diesen Varianten sind dann Mischtypgebäude erstellt worden, die den tatsächlichen mittleren Bauzustand eines Gebäudetyps präsentieren.

Über die Verteilung der Fensterflächen nach Himmelsrichtung kann keine detaillierte Aussage getroffen werden. Soweit vorhanden werden die Angaben der bearbeitenden Institute übernommen, ansonsten wird von Gleichverteilung der Fensterflächen bei Mehrfamilienhäusern und überwiegend Südausrichtung bei Ein- und Zweifamilienhäusern ausgegangen.

Bei der Bilanzierung des Heizwärmebedarfs ist die Wärmespeicherkapazität von Bedeutung. Hierzu tragen vor allem die Innenbauteile bei. Da über deren Anteil keine bzw. nur sporadische Angaben vorhanden sind, sind diese Flächen abgeschätzt worden.

- Nutzerbedingte Einflüsse

Der Nutzer eines Gebäudes kann den Heizwärmeverbrauch durch die gewünschte Raumsolltemperatur, das Lüftungsverhalten und die Heizungsregelung in einem weiten Bereich beeinflussen. Die Hausgeräteausrüstung wirkt als innere Wärmequelle und nimmt somit

indirekt Einfluß auf den Wärmeverbrauch. Die Quantifizierung des Nutzerverhaltens gestaltet sich aufgrund der großen Variationsbreite äußerst schwierig. Anhand von eigenen und fremden Untersuchungen (Literaturwerte), durch Abgleich der hochgerechneten Ergebnisse mit der Energiebilanz und mit Hilfe langjähriger Erfahrung werden von TP 5 plausible Parameter hergeleitet. Diese Parameter können im konkreten Einzelfall deutlich von den hier gewählten abweichen.

Die Raumsolltemperatur muß sowohl räumlich - über das gesamte Gebäude (soweit dieses als ein Gebäude mit nur einer Temperaturzone betrachtet wird) -, als auch zeitlich - über die gesamte Hauptnutzungszeit während der Heizperiode - gemittelt werden.

Nach Auswertung von Literaturstellen (siehe Bericht TP 5-11) resultiert abhängig vom Gebäudetyp (Einfamilienhaus -Mehrfamilienhaus) und Wärmestandard (Altbau - Niedrigenergiehaus) ein Mittelwert der effektiven Rauminnentemperatur in der Heizperiode zwischen ca. 18.5° C und 20.5° C bezogen auf die beheizten Räume.

Für die Hochrechnung wird standardmäßig mit 18.5 °C mittlerer Raumsolltemperatur bei Einfamilienhäusern und 19.5° C bei Mehrfamilienhäusern gerechnet.

Dabei ist die Minderheizung in Schlafräumen, Treppenhäusern, Fluren, Gästezimmern etc. berücksichtigt. Insbesondere von älteren Menschen bewohnte Wohnungen sind oft nur zu einem geringen Teil beheizt.

Bei Wohnungen mit Einzelofenheizung wird in der Regel ebenfalls nur ein Teil der Wohnräume beheizt, wodurch sich die mittlere Rauminnentemperatur verringert. **Der Minderbedarf solcher Wohnungen wird durch die Reduktion des Beheizungsumfanges auf 80% des Heizwärmebedarfs bei Ein- und Zweifamilienhäuser und 85% bei Mehrfamilienhäusern berücksichtigt.**

Die mittlere Dauer der Nachtabenkung (Nachtabeschaltung) wird mit 8 h (von 22 Uhr bis 6 Uhr) angesetzt. Die minimale Rauminnentemperatur während der Nachtabenkung wird auf 14 °C begrenzt, da dieser Wert üblicherweise auch bei Nachtabeschaltung nicht unterschritten wird. Von Mitte April bis Mitte September wird von einer Heizungsabschaltung ausgegangen.

Die zur Berechnung der Lüftungswärmeverluste notwendigen Parameter sind das beheizte Nettovolumen des Gebäudes und der mittlere Luftwechsel. Hierbei ist zu unterscheiden

zwischen den direkt belüfteten Räumen und den indirekt belüfteten (Flur, innenliegende Naßräume, Treppenhaus etc.), da sich bei den ersteren ein höherer Luftwechsel als bei den letzteren einstellt. Unter Berücksichtigung der mittleren Aufenthaltsdauer in den einzelnen Räumen durch die Nutzer von ca. 16 h/d, einem Luftwechsel von 1 l/h während Anwesenheit und von 0.3 l/h während Abwesenheit ergibt sich bezogen auf die direkt belüfteten Räume ein mittlerer Luftwechsel von ca. 0.75 l/h. Bezogen auf das Gesamtgebäude liegt dieser Wert dann bei 0.6 l/h (Das Verhältnis direkt belüftete Wohnfläche zu Nettogrundfläche ist ca. 0.8). Daher wird für die Hochrechnung standardmäßig ein mittlerer Luftwechsel von 0.6 l/h bezogen auf den gesamten Nettorauminhalt angesetzt.

Beim Vergleich der Hochrechnung des Heizwärmebedarfs der alten Bundesländer, 1987 mit anderen Studien sowie der Energiebilanz zeigte sich, daß die oben abgeleiteten Werte für Raumsolltemperatur und Luftwechsel realistische Ergebnisse liefern und keiner weiteren Korrektur bedürfen. Für die neuen Bundesländer zeigt sich dagegen, daß für die Vergangenheitswerte (Jahr 1989) von höheren Raumtemperaturen und Luftwechseln ausgegangen werden muß.

Durch die Wärmeabgabe des Menschen, der Beleuchtung, der Haushaltsgeräte und der Warmwasserversorgung findet ein Wärmeeintrag ins Gebäude statt, der zu einer Verringerung des Heizwärmebedarfs führt. Die Wärmeabgabe des Menschen beträgt bei einer Wärmeleistung von ca. 80-90 W pro Person und einer mittleren Aufenthaltsdauer von 16 h pro Tag ungefähr 1.4 kWh/d pro Person. Der Wärmeeintrag durch Geräte und Maschinen ergibt sich unter der Voraussetzung eines durchschnittlichen 2.7-Personen-Haushaltes zu 5.4 kWh/d pro Haushalt /Rouvel, 1984/. Hierbei sind nur die nutzbaren Wärmegewinne einbezogen, d.h. Wärme, die sofort zum Beispiel mit dem Abwasser das Haus verläßt, ist nicht berücksichtigt.

Die Wärmegewinne durch die Nutzung von Warmwasser werden mit ca. 3 kWh/d bewertet. Die Wärmegewinne durch die Warmwasserverteilung vom Wärmeerzeuger zur Zapfstelle sind hier nicht eingerechnet, sondern werden bei der Bewertung des Heizsystems betrachtet. Somit lassen sich die inneren Wärmequellen standardmäßig zu ca. 5 W/m² ansetzen /Rouvel, 1984/.

- Typologie für den Wohngebäudebestand in den alten Bundesländern

Die Typologie für die alten Bundesländer ist vom IWU Darmstadt erarbeitet /IWU, 1991/ worden und umfaßt entsprechend der Gliederung des Wohnungsbestandes durch das Statistische Bundesamt 30 für den Bestand in den alten Bundesländern repräsentative Gebäude, die in 5 Gruppen aufgeteilt sind:

| | | | |
|-----------------------------|-------|------|--------------------|
| - Einfamilienhäuser | (EFH) | 1-2 | WE (Wohneinheiten) |
| - Reihen- und Doppelhäuser | (RDH) | 1-2 | WE |
| - Kleine Mehrfamilienhäuser | (KMH) | 3-6 | WE |
| - Große Mehrfamilienhäuser | (GMH) | 7-12 | WE |
| - Hochhäuser | (HOH) | > 12 | WE |

Diese Grobstruktur wird nach Baualtersgruppen weiter untergliedert. Diese Klassifizierung orientiert sich zum einen an einschneidenden Veränderungen in der historischen Entwicklung, zum anderen am Inkrafttreten für den Wohnungsbau wichtiger Richtlinien (DIN 4108, Wärmeschutzverordnung).

| | |
|-------------|--|
| - 1918 | Gründung der Weimarer Republik |
| 1919 - 1948 | Gründung der Bundesrepublik |
| 1949 - 1956 | Nachkriegsjahre mit Materialmangel |
| 1957 - 1968 | DIN 4108 (Wärmeschutz im Hochbau) wird wirksam |
| 1969 - 1977 | Ergänzung der DIN 4108 |
| 1978 - 1984 | I. Wärmeschutzverordnung wird wirksam |
| 1985 - | II. Wärmeschutzverordnung wird wirksam |

Einen Überblick über die Typgebäude mit den wichtigsten Kennwerten zur Beurteilung gibt **Bild 3-1** auf den folgenden Seiten. Zur Kennzeichnung der Zuordnung zu den alten Bundesländern ist ein "W" als 4. Buchstabe der jeweiligen Gebäudegruppe zugeordnet (EFHW, RDHW, KMHW, GMHW, HOHW).

Einfamilienhäuser BFHW (- 1957)

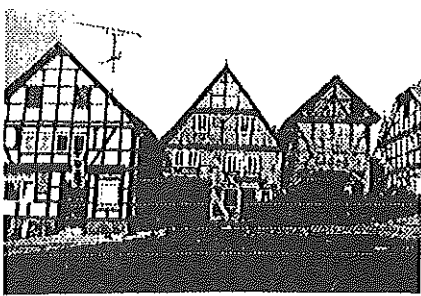


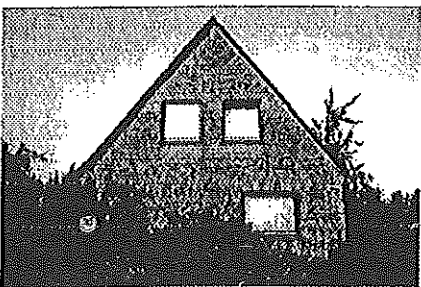
| | |
|---|---|
|  | <p>A - 1900 (Fachwerkhaus)</p> <p>Bruttovolumen : 749 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,56 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 155 m²</p> <p>k_m-Wert : 1,48 W/m²K</p> |
|  | <p>B 1901 - 1918</p> <p>Bruttovolumen : 483 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,67 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 129 m²</p> <p>k_m-Wert : 1,20 W/m²K</p> |
|  | <p>C 1919 - 1948</p> <p>Bruttovolumen : 979 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,66 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 220 m²</p> <p>k_m-Wert : 1,08 W/m²K</p> |
|  | <p>D 1949 - 1957</p> <p>Bruttovolumen : 380 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,90 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 101 m²</p> <p>k_m-Wert : 1,15 W/m²K</p> |

Bild 3-1: Gebäudetypologie alte Bundesländer (nach IWU)

Einfamilienhäuser BFHW (1958 - 1989)


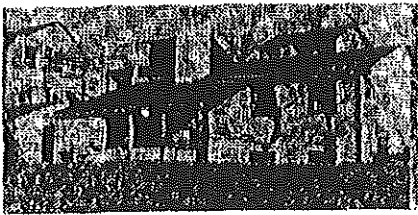
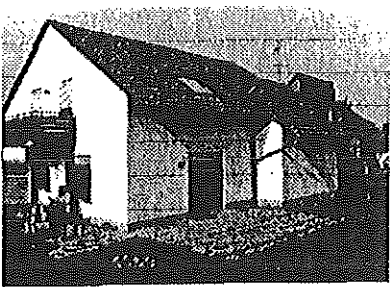
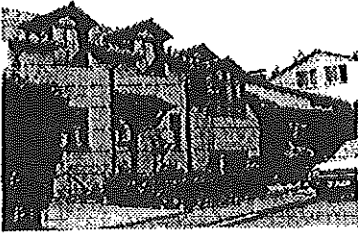
| | |
|---|---|
|  | <p>E 1958 - 1968</p> <p>Bruttovolumen : 904 m³ Verhältnis A/V : 0,67 m⁻¹ Wohnfläche : 242 m² k_m-Wert : 0,92 W/m²K</p> |
|  | <p>F 1969 - 1978</p> <p>Bruttovolumen : 514 m³ Verhältnis A/V : 1,07 m⁻¹ Wohnfläche : 158 m² k_m-Wert : 0,59 W/m²K</p> |
|  | <p>G 1979 - 1983</p> <p>Bruttovolumen : 647 m³ Verhältnis A/V : 0,58 m⁻¹ Wohnfläche : 161 m² k_m-Wert : 0,78 W/m²K</p> |
|  | <p>H 1984 - 1989</p> <p>Bruttovolumen : 511 m³ Verhältnis A/V : 0,86 m⁻¹ Wohnfläche : 136 m² k_m-Wert : 0,54 W/m²K</p> |

Bild 3-1: Gebäudetypologie alte Bundesländer (nach IWU)

Fortsetzung

Reihen- und Doppelhäuser RDHW (- 1968)


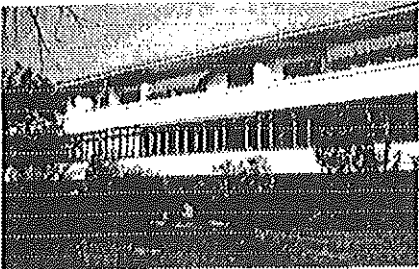
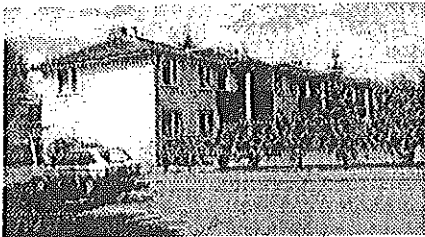
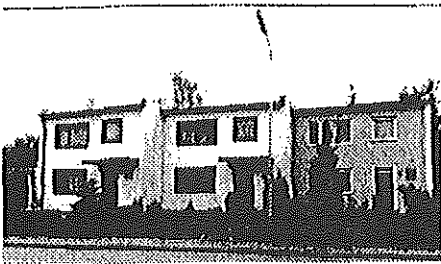
| | |
|---|---|
|  | <p>B - 1918</p> <p>Bruttovolumen : 586 m³ Verhältnis A/V : 0,37 m⁻¹ Wohnfläche : 87 m² k_m-Wert : 1,18 W/m²K</p> |
|  | <p>C 1919 - 1948</p> <p>Bruttovolumen : 418 m³ Verhältnis A/V : 0,45 m⁻¹ Wohnfläche : 103 m² k_m-Wert : 1,39 W/m²K</p> |
|  | <p>D 1949 - 1957</p> <p>Bruttovolumen : 458 m³ Verhältnis A/V : 0,75 m⁻¹ Wohnfläche : 136 m² k_m-Wert : 0,99 W/m²K</p> |
|  | <p>E 1958 - 1968</p> <p>Bruttovolumen : 365 m³ Verhältnis A/V : 0,41 m⁻¹ Wohnfläche : 72 m² k_m-Wert : 1,10 W/m²K k-Wert Dach von 0.59 (IWU) nach 1.31 W/m²K geändert</p> |

Bild 3-1: Gebäudetypologie alte Bundesländer (nach IWU)

Fortsetzung

Reihen- und Doppelhäuser RDHW (1969 - 1989)


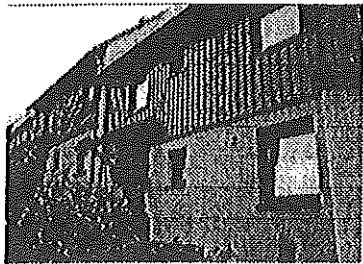

| | |
|--|--|
|  | <p>F 1969 - 1978</p> <p>Bruttovolumen : 487 m³ Verhältnis A/V : 0,42 m⁻¹ Wohnfläche : 97 m² k_m-Wert : 0,98 W/m²K</p> |
|  | <p>G 1979 - 1983</p> <p>Bruttovolumen : 541 m³ Verhältnis A/V : 0,55 m⁻¹ Wohnfläche : 97 m² k_m-Wert : 0,65 W/m²K</p> |
|  | <p>H 1984 - 1989</p> <p>Bruttovolumen : 471 m³ Verhältnis A/V : 0,41 m⁻¹ Wohnfläche : 81 m² k_m-Wert : 0,68 W/m²K</p> |

Bild 3-1: Gebäudetypologie alte Bundesländer (nach IWU)

Fortsetzung

| |
|---|
| Kleine Mehrfamilienhäuser KMHW (- 1957) |
|---|

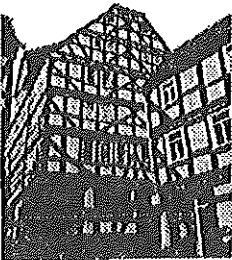

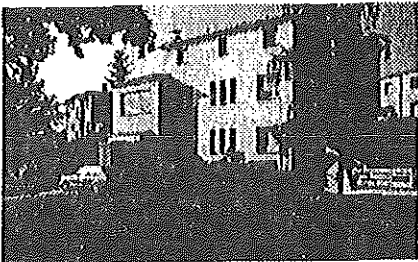

| | |
|---|---|
|  | <p>A - 1900 (Fachwerkhaus)</p> <p>Bruttovolumen : 2488 m³ Verhältnis A/V : 0,48 m⁻¹ Wohnfläche : 616 m² k_m-Wert : 1,25 W/m²K</p> |
|  | <p>B 1901 - 1918</p> <p>Bruttovolumen : 1791 m³ Verhältnis A/V : 0,32 m⁻¹ Wohnfläche : 284 m² k_m-Wert : 1,25 W/m²K</p> |
|  | <p>C 1919 - 1948</p> <p>Bruttovolumen : 1171 m³ Verhältnis A/V : 0,62 m⁻¹ Wohnfläche : 349 m² k_m-Wert : 0,98 W/m²K</p> |
|  | <p>D 1949 - 1957</p> <p>Bruttovolumen : 1572 m³ Verhältnis A/V : 0,81 m⁻¹ Wohnfläche : 593 m² k_m-Wert : 1,10 W/m²K</p> |

Bild 3-1: Gebäudetypologie alte Bundesländer (nach IWU)

Fortsetzung

Kleine Mehrfamilienhäuser KMHW (1958 - 1989)

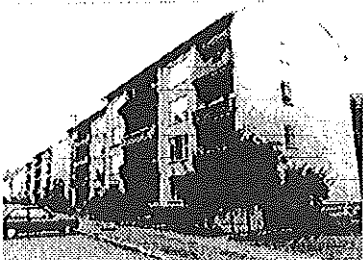


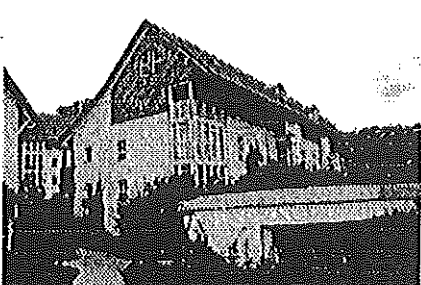
| | |
|---|---|
|  | <p>E 1958 - 1968</p> <p>Bruttovolumen : 10.397 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,43 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 2845 m²</p> <p>k_m-Wert : 1,52 W/m²K</p> |
|  | <p>F 1969 - 1978</p> <p>Bruttovolumen : 4125 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,55 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 1500 m²</p> <p>k_m-Wert : 1,11 W/m²K</p> |
|  | <p>G 1979 - 1983</p> <p>Bruttovolumen : 2040 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,51 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 595 m²</p> <p>k_m-Wert : 0,72 W/m²K</p> |
|  | <p>H 1984 - 1989</p> <p>Bruttovolumen : 3294 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,54 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 1263 m²</p> <p>k_m-Wert : 0,71 W/m²K</p> |

Bild 3-1: Gebäudetypologie alte Bundesländer (nach IWU)

Fortsetzung

Große Mehrfamilienhäuser GMHW (- 1968)



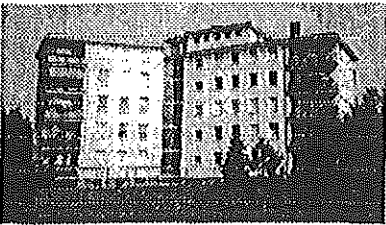
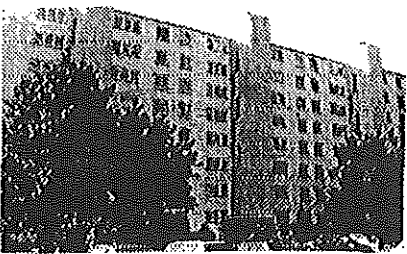

| | |
|---|---|
|  | <p>B - 1918</p> <p>Bruttovolumen : 3308 m³ Verhältnis A/V : 0,35 m⁻¹ Wohnfläche : 754 m² k_m-Wert : 1,13 W/m²K</p> |
|  | <p>C 1919 - 1948</p> <p>Bruttovolumen : 5942 m³ Verhältnis A/V : 0,39 m⁻¹ Wohnfläche : 1349 m² k_m-Wert : 1,31 W/m²K</p> |
|  | <p>D 1949 - 1957</p> <p>Bruttovolumen : 4808 m³ Verhältnis A/V : 0,49 m⁻¹ Wohnfläche : 1457 m² k_m-Wert : 1,20 W/m²K</p> |
|  | <p>E 1958 - 1968</p> <p>Bruttovolumen : 11.510 m³ Verhältnis A/V : 0,42 m⁻¹ Wohnfläche : 3534 m² k_m-Wert : 1,67 W/m²K</p> |

Bild 3-1: Gebäudetypologie alte Bundesländer (nach IWU)

Fortsetzung

Große Mehrfamilienhäuser GMHW (1969 - 1978)

| | |
|---|---|
|  | <p>F 1969 - 1978</p> <p>Bruttovolumen : 8305 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,45 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 3020 m²</p> <p>k_m-Wert : 1,50 W/m²K</p> |
|---|---|

Hochhäuser HOHW (1958 - 1978)


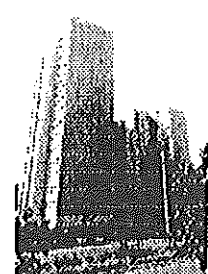
| | |
|---|---|
|  | <p>E 1958 - 1968</p> <p>Bruttovolumen : 30.349 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,33 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 10.408 m²</p> <p>k_m-Wert : 1,35 W/m²K</p> |
|  | <p>F 1969 - 1978</p> <p>Bruttovolumen : 77.955 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,26 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 18.012 m²</p> <p>k_m-Wert : 1,04 W/m²K</p> |

Bild 3-1: Gebäudetypologie alte Bundesländer (nach IWU)

Fortsetzung

Die Zuordnung der 30 vom IWU beschriebenen Typgebäude zu den vom Statistischen Bundesamt (StBA) bei der Gebäude- und Wohnungszählung 1987 erhobenen Bestandszahlen ist nicht eindeutig, da vom StBA außer Baualter und Gebäudegröße (Anzahl der Wohneinheiten) keine weiteren Gebäudemerkmale erhoben wurden, die eine eindeutige Zuordnung zulassen.

Vom StBA werden 5 Gebäudegrößen unterschieden: 1, 2, 3-6, 7-12 und > 12 Wohneinheiten. Von TP 5 sind daher die Typgebäude mit der Bezeichnung EFHW (nach Bild 3-1) den StBA-Gebäuden mit zwei Wohneinheiten, die Typgebäude RDHW den Gebäuden mit einer Wohneinheit zugewiesen, obwohl beide Typen mit 1 oder 2 Wohneinheiten verwirklicht sein können. Diese Zuordnung hat keinen wesentlichen, mehr oder weniger willkürlichen Einfluß auf das Ergebnis. Die übrigen Typgebäude stimmen mit der Klassifizierung des StBA überein.

Die Baualtersklassen der Gebäude sind beim StBA detaillierter als bei IWU angegeben. Sie können aber zu Baualtersklassen so zusammengefaßt werden, daß Deckung mit der IWU-Gliederung erreicht wird. Lediglich die Baualtersklasse -1918 tritt beim IWU bei den Einfamilienhäusern (EFHWA und EFHWA) und den kleinen Mehrfamilienhäusern (KMHWA und KMHWA) doppelt auf, zum einen als Fachwerkhaus und zum anderen als Massivhaus. Das Fachwerkhaus wurde von TP 5 jeweils in die Baualtersklasse -1900, das Massivhaus in die Baualtersklasse 1901 - 1918 entsprechend der StBA-Gliederung eingereiht.

Für Gebäude mit 7-12 Wohneinheiten der Baualtersklasse zwischen 1979 und 1987 (nach Gebäude- und Wohnungszählung) existiert bei IWU kein Pendant. Für diese beiden Häuser (GMHWG und GMHWH) müssen für die Hochrechnung Schätzdaten angesetzt werden. Gebäude mit > 12 Wohneinheiten der Baualtersklassen vor 1958 und nach 1978 (HOHWA, HOHWA, HOHWA, HOHWA und HOHWA) haben in der IWU-Typologie ebenfalls kein Gegenstück. Die Bestandszahlen dieser Gebäude werden den großen Mehrfamilienhäusern GMHW zugerechnet.

Unter den genannten Voraussetzungen ergibt sich die in Tabelle 3-1 dargestellte prozentuale Flächenverteilung für die in Bild 3-1 aufgeführten Typgebäude.

Wie aus Tabelle 3-1 hervorgeht, befinden sich ca. 60% der Wohnflächen des Wohngebäudebestandes in Ein- und Zweifamilienhäusern. Ein Drittel der Gesamtfläche aller Gebäude wurde vor 1948 gebaut, lediglich ca. 15% nach 1978, d.h. nach Inkrafttreten der I. Wärmeschutzverordnung. Hieraus wird deutlich, daß bei zukünftigen Maßnahmen zur Energieein-

sparung zum einen der private Hausbesitzer angesprochen werden muß und zum anderen der Altbestand eine große Rolle spielen wird.

| EFHW | Baualter | Häufigkeit % | RDHW | Baualter | Häufigkeit % |
|------|------------------------|--------------|------|-----------|--------------|
| A | -1900 ¹ | 2.3 | | | |
| B | 1901-1918 ² | 1.4 | B | - 1918 | 6.8 |
| C | 1919-1948 | 2.7 | C | 1919-1948 | 4.8 |
| D | 1949-1957 | 2.7 | D | 1949-1957 | 4.2 |
| E | 1958-1968 | 4.3 | E | 1958-1968 | 8.1 |
| F | 1969-1978 | 3.4 | F | 1969-1978 | 9.1 |
| G | 1979-1983 | 1.6 | G | 1979-1983 | 4.2 |
| H | 1984-1989 | 1.2 | H | 1984-1989 | 3.5 |
| | Gesamt | 19.7 | | Gesamt | 40.7 |

| KMHW | Baualter | Häufigkeit % | GMHW | Baualter | Häufigkeit % |
|-------|------------------------|--------------|-------|-----------|--------------|
| A | -1900 ¹ | 1.9 | | | |
| B | 1901-1918 ² | 1.9 | B | - 1918 | 2.9 |
| C | 1919-1948 | 2.5 | C | 1919-1948 | 1.5 |
| D | 1949-1957 | 2.9 | D | 1949-1957 | 3.0 |
| E | 1958-1968 | 4.7 | E | 1958-1968 | 3.4 |
| F | 1969-1978 | 3.1 | F | 1969-1978 | 2.4 |
| G | 1979-1983 | 0.9 | G | 1979-1983 | 1.4 |
| H | 1984-1989 | 0.8 | H | 1984-1989 | 1.2 |
| | Gesamt | 18.7 | | Gesamt | 15.8 |
| HOHWE | 1958-1968 | 1.9 | HOHWF | 1969-1978 | 3.2 |

Tabelle 3-1: Wohnflächenanteil der Typegebäude an der Gesamtwohnfläche
(alte Bundesländer, 1989, Gesamtfläche ca. 2198 Mill. m²)

¹ Fachwerkhäuser ² Massivbauhäuser

- Typologie für den Wohngebäudebestand in den neuen Bundesländern

Auf der Basis des Gebäudeatlases "Mehrfamilienwohngebäude der Baujahre 1880 bis 1980, Teil 1 und Teil 2" /Bauakademie, 1990/ ist vom IHLGB Berlin eine Gebäudetypologie für die neuen Bundesländer erarbeitet worden. Dieser Gebäudeatlas diente in der früheren DDR als Grundlage für volkswirtschaftliche Entscheidungen im Wohnungsbau.

Aus dieser Basis sind 14 repräsentative Gebäude ausgewählt und detailliert beschrieben worden /IHLGB, 1991/. Die Struktur der Typologie ist nicht mit der IWU-Typologie für die alten Bundesländer vergleichbar. Die Mehrfamilienhäuser unterteilen sich in 3 Baualtersgruppen:

- | | | |
|----|---------------|-----------|
| 1. | 1870 bis 1918 | : 3 Typen |
| 2. | 1919 bis 1945 | : 1 Typ |
| 3. | nach 1946 | : 5 Typen |

Die nach 1946 gebauten Häuser sind im wesentlichen industriell errichtet. Sie unterscheiden sich durch Montageart und wärmetechnischen Standard.

Weiterhin werden für den Bereich Einfamilienhäuser 5 Typen unterschieden:

1. bis 1918
2. 1919 bis 1945
3. 1946 bis 1970
4. 1971 bis 1985
5. 1986 bis 1990

Diese Typgebäude werden in **Bild 3-2** detailliert dargestellt. Zur Kennzeichnung der Zuordnung dieser Gebäude zu den neuen Bundesländern ist - in Anlehnung an Kap. II.2.1 - "O" als 4. Buchstabe zur jeweiligen Gebäudegruppe zugefügt (EFHO, KMHO, GMHO, HOHO).

In **Tabelle 3-2** ist die prozentuale Flächenaufteilung dieser Typgebäude dargestellt.

Im Gegensatz zu den alten Bundesländern beträgt der Flächenanteil der Ein- und Zweifamilienhäuser in Ostdeutschland nur ca. 1/3 des Bestandes. Davon sind ca. 72% vor 1946 gebaut. Von den Mehrfamilienhäusern wurden ca. 50% vor 1946 erstellt. Die Gebäude- und Altersstruktur in den neuen Bundesländern unterscheidet sich damit wesentlich von der in den alten Bundesländern.

Einfamilienhäuser EFHO (- 1985)



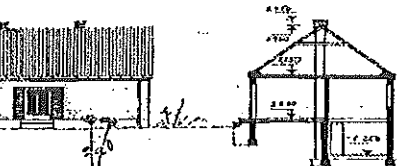

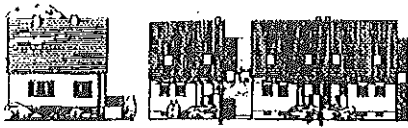
| | |
|---|--|
|  | <p>A - 1918 (INDEX1*)</p> <p>Bruttovolumen : 217,1 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,85 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 65 m²</p> <p>k_m-Wert : 1,39 W/m²K</p> |
|  | <p>B 1918 - 1945 (INDEX2*)</p> <p>Bruttovolumen : 216,7 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,85 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 61 m²</p> <p>k_m-Wert : 1,45 W/m²K</p> |
|  | <p>C 1946 - 1970 (INDEX3*)</p> <p>Bruttovolumen : 275,9 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,85 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 178,25 m²</p> <p>k_m-Wert : 1,38 W/m²K</p> |
|  | <p>D 1971 - 1985 (INDEX4*)</p> <p>Bruttovolumen : 401,1 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,90 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 113 m²</p> <p>k_m-Wert : 0,95 W/m²K</p> |

Bild 3-1: Gebäudetypologie neue Bundesländer

*Bezeichnung nach /IHLGB, 1991/

Einfamilienhäuser EFHO (1986- 1989)



E 1986 - 1989 (INDEX5')

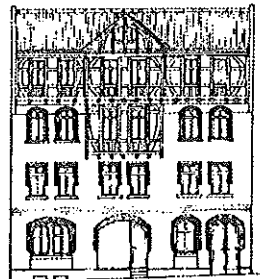
Bruttovolumen : 401,1 m³

Verhältnis A/V : 0,90 m⁻¹

Wohnfläche : 113 m²

k_m-Wert : 0,67 W/m²K

Kleine Mehrfamilienhäuser KMHO (- 1918)



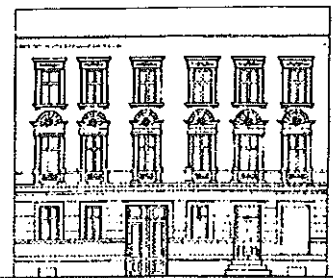
A - 1918 (IMF1')

Bruttovolumen : 1653,9 m³

Verhältnis A/V : 0,44 m⁻¹

Wohnfläche : 397,6 m²

k_m-Wert : 1,65 W/m²K



B - 1918 (IMZ2')

Bruttovolumen : 1900 m³

Verhältnis A/V : 0,39 m⁻¹

Wohnfläche : 393 m²

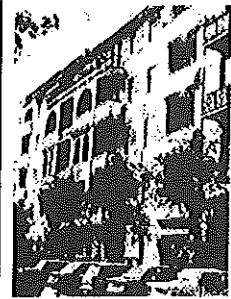
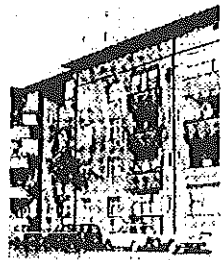
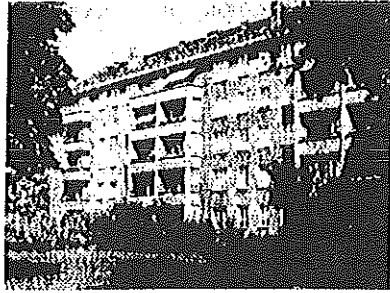

k_m-Wert : 1,25 W/m²K

Bild 3-2: Gebäudetypologie neue Bundesländer (nach IHLGB)

Fortsetzung

* Bezeichnung nach /IHLGB, 1991/

Kleine Mehrfamilienhäuser KMHO (- 1990)

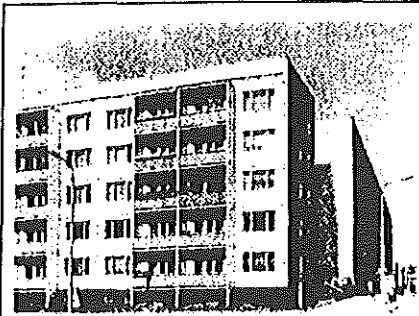
| | |
|---|--|
|  | <p>C - 1918 (IMZ3')</p> <p>Bruttovolumen : 2253 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,37 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 533,6 m²</p> <p>k_m-Wert : 1,32 W/m²K</p> |
|  | <p>D 1919 - 1945 (IMZ4')</p> <p>Bruttovolumen : 2196,7 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,38 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 505,6 m²</p> <p>k_m-Wert : 1,36 W/m²K</p> |
|  | <p>E 1946 - 1960 (IMZ5')</p> <p>Bruttovolumen : 1914,3 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,42 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 523,8 m²</p> <p>k_m-Wert : 1,34 W/m²K</p> |
|  | <p>F 1961 - 1990 (IMI1')</p> <p>Bruttovolumen : 1601,9 m³</p> <p>Verhältnis A/V : 0,42 m⁻¹</p> <p>Wohnfläche : 480 m²</p> <p>k_m-Wert : 1,32 W/m²K</p> |

* Bezeichnung nach /IHLGB, 1991/

Bild 3-1: Gebäudetypologie neue Bundesländer (nach IHLGB)

Fortsetzung

Große Mehrfamilienhäuser GMHO (1970 - 1985)



A 1970 - 1985 (IMI2*)

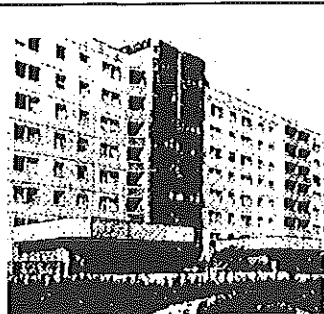
Bruttovolumen : 2081,2 m³

Verhältnis A/V : 0,32 m⁻¹

Wohnfläche : 590 m²

k_m-Wert : 1,18 W/m²K

Hochhäuser HOHO (1970 - 1985)



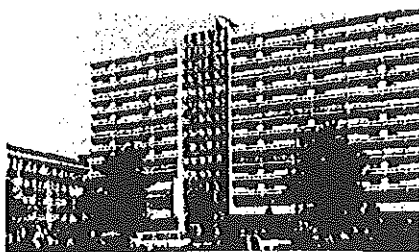
A 1970 - 1985 (IMI3*)

Bruttovolumen : 8403,2 m³

Verhältnis A/V : 0,28 m⁻¹

Wohnfläche : 2339,2 m²

k_m-Wert : 1,22 W/m²K



B 1970 - 1985 (IMI4*)

Bruttovolumen : 40.562 m³

Verhältnis A/V : 0,21 m⁻¹

Wohnfläche : 8432 m²

k_m-Wert : 1,28 W/m²K

Bild 3-2: Gebäudetypologie neue Bundesländer (nach IHLGB)

Fortsetzung

* Bezeichnung nach /IHLGB, 1991/

| EFHO | Baualter | Häufigkeit % | KMHO | Baualter | Häufigkeit % |
|------|-----------|--------------|------|---------------------|--------------|
| A | -1918 | 17.2 | A | - 1918 ¹ | 1.7 |
| B | 1918-1945 | 10.0 | B | - 1918 ² | 11.1 |
| C | 1946-1970 | 4.7 | C | - 1918 ³ | 8.0 |
| D | 1971-1985 | 4.0 | D | 1919-1945 | 10.2 |
| E | 1986-1989 | 1.6 | E | 1946-1960 | 4.2 |
| | | | F | 1961-1989 | 9.0 |
| | Gesamt | 37.5 | | Gesamt | 44.2 |

| GMHO | Baualter | Häufigkeit % | HOHO | Baualter | Häufigkeit % |
|------|-----------|--------------|------|-----------|--------------|
| A | 1970-1985 | 14.2 | A | 1970-1985 | 3.2 |
| | | | B | 1970-1985 | 0.9 |
| | Gesamt | 14.2 | | Gesamt | 4.1 |

Tabelle 3-2: Wohnflächenanteil der Typgebäude an der Gesamtwohnfläche
(neue Bundesländer, 1989, Gesamtfläche ca. 419 Mio. m²)

¹ Fachwerk

² Ziegelbau zwei- dreigeschossig

³ Ziegelbau vier- fünfgeschossig

- Typologie für den Neubau in den alten und neuen Bundesländern

Die Typologie für Neubauten ist von IBP Stuttgart erarbeitet worden /IBP, 1992b/ und umfaßt 7 Gebäude:

| | | |
|---------------------------------|-------|----------------------|
| - freistehendes Einfamilienhaus | (EFH) | 1 WE (Wohneinheiten) |
| - Doppelhaushälfte | (DHH) | 1 WE |
| - Reihemittelhaus | (RMH) | 1 WE |
| - Zweifamilienhaus | (ZFH) | 2 WE |
| - Kleines Mehrfamilienhaus | (KMH) | 3-6 WE |
| - Großes Mehrfamilienhaus | (GMH) | 7-12 WE |
| - Hochhaus | (HOH) | 13 und mehr WE |

Zur Beschreibung dieser Typgebäude sind zunächst aus der Gebäudestatistik des Statistischen Bundesamtes die mittleren Wohnflächen für heutige Neubauten ermittelt worden /StBA, 1990/. Weitere Gebäudekenndaten sind aus abgeschlossenen und laufenden Forschungsvorhaben des IBP sowie aus Daten, die von Wohnungsbaugesellschaften zur Verfügung gestellt wurden, errechnet. Diese Typgebäude sind somit keine realen Objekte, sondern stellen den statistischen Mittelwert der untersuchten Gebäudekenngrößen dar.

Für diejenigen untersuchten Gebäude, die das statistische Mittel am ehesten repräsentieren, sind in **Bild 3-3** die Grundrisse und Schnitte abgebildet. Außerdem werden die wichtigsten Kennwerte zur Beurteilung angegeben.

Die Kürzel für die Typen sind analog zu den in den vorhergehenden Kapiteln gewählten Abkürzungen. Zur Kennzeichnung, daß es sich um Neubauten für das gesamte Bundesgebiet handelt, ist ein "G" als 4. Buchstabe der jeweiligen Gebäudegruppe zugeordnet (EFHG, DHHG, RMHG, ZFHG, KMHG, GMHG, HOHG).

In **Bild 3-3** ist bei der Angabe des k_m -Wertes vom heutigen Neubaustandard (WSVO 1982) ausgegangen. Da es sich beim Neubau jedoch um eine zukünftige Technik handelt und die weitere Entwicklung sicher nicht auf dem heutigen Stand verharren wird, werden die gleichen Gebäude auch mit verbesserten wärmetechnischen Eigenschaften betrachtet. Diese Verbesserungen orientieren sich zum einen am derzeitigen Stand der Novellierung der Wärmeschutzverordnung, zum anderen an einem Niedrigenergiehausstandard (NEH). Zu den für die Verbesserungen anfallenden Kosten sei auf einen späteren Bericht verwiesen.

Typegebäude Neubau

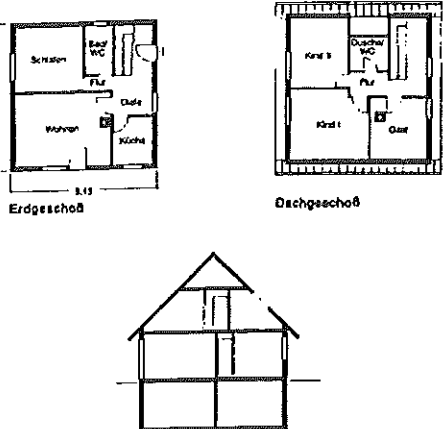
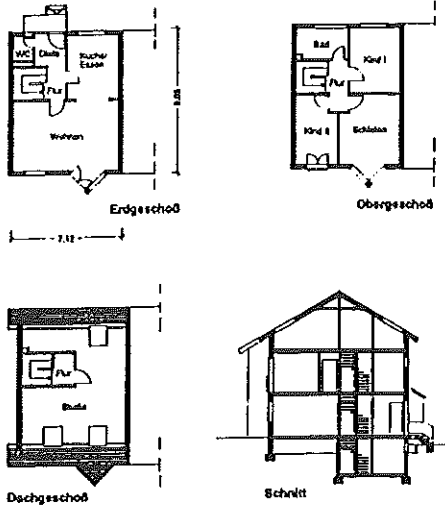
| | |
|---|--|
|  <p>Erdgeschoss</p> <p>Dachgeschoss</p> <p>Schnitt</p> | <p>EFHG Einfamilienhaus freistehend</p> <p>Bruttovolumen : 441 m³ Verhältnis A/V : 0,92 m⁻¹ Wohnfläche : 134 m² k_m-Wert : 0,69 W/m²K (heutiger Standard)</p> |
|  <p>Erdgeschoss</p> <p>Obergeschoss</p> <p>Dachgeschoss</p> <p>Schnitt</p> | <p>DHHG Doppelhaushälfte</p> <p>Bruttovolumen : 405 m³ Verhältnis A/V : 0,62 m⁻¹ Wohnfläche : 116 m² k_m-Wert : 0,74 W/m²K (heutiger Standard)</p> |

Bild 3-3: Gebäudetypologie Neubau (nach IBP)

Typgebäude Neubau

| | |
|--|---|
| | <p>RMHG Reihenmittelhaus</p> <p>Bruttovolumen : 379 m³ Verhältnis A/V : 0,48 m⁻¹ Wohnfläche : 112 m² k_m-Wert : 0,67 W/m²K (heutiger Standard)</p> |
| | <p>ZFHG Zweifamilienhaus</p> <p>Bruttovolumen : 736 m³ Verhältnis A/V : 0,68 m⁻¹ Wohnfläche : 193 m² k_m-Wert : 0,70 W/m²K (heutiger Standard)</p> |

Bild 3-3: Gebäudetypologie Neubau (nach IBP)

Fortsetzung

Typgebäude Neubau

| | |
|--|--|
| <p>Erdgeschoss</p> <p>Obergeschoss</p> | <p>KMHG Kleines Mehrfamilienhaus</p> <p>Bruttovolumen : 1333 m³ Verhältnis A/V : 0,61 m⁻¹ Wohnfläche : 351 m² k_m-Wert : 0,34 W/m²K (heutiger Standard)</p> |
| <p>Erdgeschoss</p> <p>1. + 2. Obergeschoss</p> <p>Dachgeschoss</p> <p>Galeriageschoß</p> | <p>GMHG Großes Mehrfamilienhaus</p> <p>Bruttovolumen : 2542 m³ Verhältnis A/V : 0,51 m⁻¹ Wohnfläche : 648 m² k_m-Wert : 0,88 W/m²K (heutiger Standard)</p> |

Bild 3-3: Gebäudetypologie Neubau (nach IBP)

Fortsetzung

Typegebäude Neubau

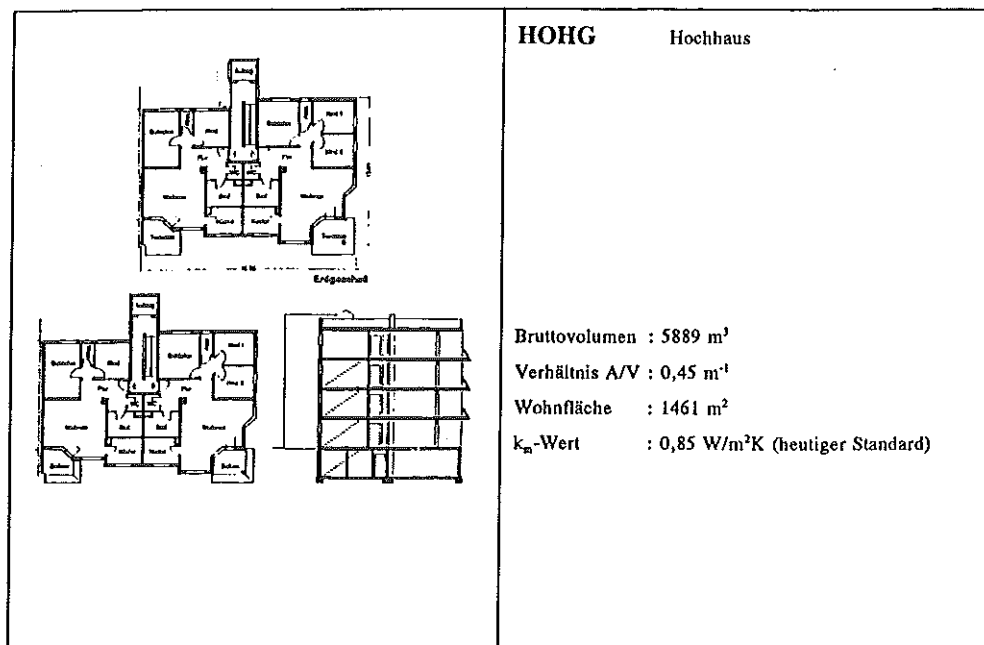


Bild 3-3: Gebäudetypologie Neubau (nach IBP)

Fortsetzung

- Typologie für Nichtwohngebäude in den alten und neuen Bundesländern

Für Nichtwohngebäude ist ebenfalls eine Gebäudetypologie erstellt worden, die 21 Typgebäude für die alten Bundesländer und 7 Typgebäude für die neuen Bundesländer umfaßt. Der Neubau wird durch 21 Typen nachgebildet. Eine genaue Beschreibung findet sich in Teil II dieses Berichtes, in dem der Kleinverbrauchersektor beschrieben wird.

3.1.2. Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung in Wohngebäuden

Für die Ermittlung des Endenergiebedarfs, der Emissionen und der Investitionskosten für die Wärmeerzeugung müssen die Typgebäude mit Heizungssystemen verknüpft werden. Die Kennwerte verschiedenster Heizungssysteme sind von der Forschungsstelle für Energiewirtschaft /FfE, 1992-1994/ ermittelt worden.

Dabei werden prinzipiell 3 Wärmeerzeugerarten unterschieden, die untereinander kombiniert sein können:

Wärmeerzeuger WE 1: konventionell /FfE, 1993a/

- WE 11: Zentralheizung: Gas/Öl/Fernwärme/Strom
- WE 12: Etagenheizung : Gas
- WE 13: Einzelöfen: Gas/Öl/Kohle/Strom
- WE 14: Elektrofußbodenheizung
- WE 15: Lufterhitzer /FfE, 1993d/

Wärmeerzeuger WE 2: nichtkonventionell

- WE 21: Solarkollektor /FfE, 1992/
- WE 22: Wärmepumpe (Kompression/Absorption) /FfE, 1993c/
- WE 23: Blockheizkraftwerke (BHKW) /FfE, 1993b/

Wärmeerzeuger WE 3: konventionelle Warmwasserbereitung /FfE, 1993a/

- WE 31: Durchlauferhitzer: Gas/Strom
- WE 32: Einzelspeicher: Gas/Strom
- WE 33: Zentrale Warmwasserbereitung mit getrenntem Kessel

Für zentrale, konventionelle Wärmeerzeuger (WE 1) werden folgende Systeme unterschieden:

- Umstell- / Wechselbrandkessel mit Ölzerstäubungsbrenner (Baujahr vor 1976)
- Spezialkessel mit Ölzerstäubungsbrenner (Baujahr 1976-1982)
- Niedertemperaturkessel mit Ölzerstäubungsbrenner (Baujahr 1983-1989 bzw. ab 1989)
- Umstell- / Wechselbrandkessel mit Gasgebläsebrenner (Baujahr vor 1976)
- Spezialkessel mit Gasgebläsebrenner (Baujahr 1976-1982)
- Niedertemperaturkessel mit Gasgebläsebrenner (Baujahr 1983-1989 bzw. ab 1989)
- Brennwertkessel mit Gasgebläsebrenner (Stand der Technik)

Die gasversorgten Kessel werden jeweils zusätzlich in der Ausführung mit atmosphärischem Brenner ausgewiesen.

Die oben aufgelisteten Systeme werden nach Kesseltemperatur (90 °C, 80 °C, 70 °C) bzw. Temperaturpaarung bei gleitender Kesseltemperatur (90 °C/70 °C, 70 °C/50 °C, 40 °C/30 °C) und nach Leistungsbereich (10-80 kW, 80-1400 kW) differenziert.

Außerdem werden Festbrennstoffkessel mit Steinkohle- bzw. Braunkohlebefeuerung und Fernwärme-Hausstationen mit direkter und indirekter Wärmeübergabe behandelt.

Als weitere Wärmeerzeugungstechniken sind wohnungszentrale Heizungsanlagen untersucht worden. Hierbei sind Gas-Umlauf- und Kombiwasserheizer mit und ohne Brennwertnutzung sowie mit und ohne Speicher berücksichtigt.

Zur dezentralen Raumheizung sind Gas-, Öl-, Kohle- und Elektro-Einzelöfen beschrieben. Zur Warmwassererwärmung mit dezentralem und getrenntem zentralem Warmwasserbereiter (WE 3) können gasbefeuerte oder elektrische Durchfluß- bzw. Speicherwassererwärmer zum Einsatz kommen. Speziell für die ehemalige DDR ist auch ein Kohlebadeofen in die Untersuchung mit aufgenommen worden.

Für diese Systeme wird allerdings nur nach zwei Baualtersklassen (vor 1989, Stand der Technik) unterschieden.

Für nichtkonventionelle Systeme (WE 2) sind Elektro- und Absorbtionswärmepumpen mit Außenluft, Erdreich und Grundwasser als Wärmequellen betrachtet worden. Desweiteren werden Blockheizkraftwerke (Magermotor mit Oxidationskatalysator, Motor mit 3-Wege-Katalysator) analysiert. Zur Warmwassererzeugung werden auch Sonnenkollektoren einbezogen.

Tabelle 3-3 zeigt die 10 möglichen, prinzipiellen Varianten, wie diese Wärmeerzeuger miteinander kombiniert sein können. Um die Übersicht zu bewahren, ist davon ausgegangen worden, daß jeweils nur maximal zwei verschiedene Wärmeerzeuger für Heizung und Warmwasser eingesetzt werden. Die wenigen Fälle, die mit diesem Schema nicht abgebildet werden, sind in der Realität kaum vertreten.

| System | Variante | Heizungssystem | | Warmwasserbereitungssystem | |
|--------------------------------|----------|----------------|------|----------------------------|------|
| | | A | B | C | D |
| zentrale HZG und WWB | 1 | WE 1 | | WE 1 | |
| | 2 | WE 1 | | WE 1 | WE 2 |
| | 3 | WE 1 | WE 2 | WE 1 | WE 2 |
| | 4 | | WE 2 | | WE 2 |
| zentrale HZG und getrennte WWB | 5 | WE 1 | | WE 3 | |
| | 6 | WE 1 | | WE 3 | WE 2 |
| | 7 | WE 1 | WE 2 | WE 3 | |
| | 8 | WE 1 | WE 2 | WE 3 | WE 2 |
| dez. HZG und getrennte WWB | 9 | WE 1 | | WE 3 | |
| | 10 | WE 1 | | WE 3 | WE 2 |

HZG = Heizung WWB = Warmwasserbereitung

HZG-System A: konventionell (zentral/dezentral)

HZG-System B: nichtkonventionell

WWB-System C: konventionell (zentral/dezentral)

WWB-System D: nichtkonventionell

Wärmeerzeuger WE 1: konventionell

Wärmeerzeuger WE 2: nichtkonventionell

Wärmeerzeuger WE 3: konventionelle Warmwasserbereitung

Variante 1 : konventionelles zentrales HZG-System mit zentraler WWB

Variante 2 : konventionelles zentrales HZG-System mit nichtkonventioneller zentraler WWB, Spitzenlastdeckung der WWB durch konventionelles HZG-System

Variante 3 : nichtkonventionelles zentrales Heizungs- und WWB-System mit konventioneller Spitzenlastdeckung

Variante 4 : rein nichtkonventionelles, zentrales Heizungs- und WWB-System

Variante 5 : zentrales HZG-System mit dezentralem oder getrenntem, konventionellem WWB-System

Variante 6 : zentrales HZG-System mit nichtkonventionellem WWB-System und konventioneller Zusatzheizung

Variante 9 : dezentrales HZG-System mit dezentralem oder getrenntem, konventionellem WWB-System

Variante 10 : dezentrales HZG-System mit nichtkonventionellem WWB-System und konventioneller Zusatzheizung

Tabelle 3-3: Kombinationen verschiedener Wärmeerzeuger

Bei der Bildung von Systemkombinationen wird zwischen konventionellen (A) und nicht-konventionellen (B) Heizungssystemen sowie konventionellen (C) und nichtkonventionellen (D) Warmwasserbereitungssystemen unterschieden.

Um den Energiebedarf für zentrale und dezentrale Warmwasserbereitung vergleichen zu können, werden Heizungs- und Warmwasserbereitungssystem getrennt behandelt - auch wenn nur ein zentraler Wärmeerzeuger vorhanden ist. Dies wird dadurch erreicht, daß die energetischen Kennwerte des Heizsystems sowohl im reinen Heizbetrieb als auch im kombinierten Heiz- und Warmwasserbereitungsbetrieb berechnet werden. Durch Differenzbildung können die Kennwerte dann den verschiedenen Betriebsarten (Heizung, Warmwasserbereitung) zugeordnet werden.

Durch diese strikte Trennung der Wärmeerzeuger (konventionell, nichtkonventionell) und Betriebsart (Heizung, Warmwasser) wird eine modulare Charakterisierung der Systeme möglich. Hierdurch können z.B. die Emissionen multivalenter Systeme mit verschiedenen Energieträgern identifiziert werden. Auch zentrale und dezentrale Warmwasserbereitungssysteme werden vergleichbar. Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß nicht alle Kombinationen berechnet werden müssen, sondern daß der Nutzer bisher nicht einbezogene Systeme selbst untersuchen kann. Hierzu kommt das in die FIZ-Datenbank integrierte Berechnungstool zum Einsatz.

In den Datenprofilen der Wärmeerzeuger sind neben der Beschreibung des energetischen Verhaltens (Energiebedarfskennlinie, Hilfsenergieverbrauch, Bereitschaftsverluste) auch wirtschaftliche Gesichtspunkte wie bauliche Kosten, Investitionen (letztere als Kennlinie in Abhängigkeit von der Nennleistung), Instandhaltungskosten, Beseitigungskosten und die technische Lebensdauer einbezogen. Alle Kostenangaben verstehen sich ohne Mehrwertsteuer und mögliche Subventionen. Die Emissionen sind als Faktoren in Abhängigkeit von den Endenergiebedarfswerten angegeben, wobei das Teillastverhalten aufgrund fehlender Ausgangsdaten nicht berücksichtigt ist. Für Beispiele zu den Datenblättern sei auf die Berichte TP 5-25, TP 5-26 und TP 5-27 verwiesen.

Zur Ermittlung der energetischen und kostenmäßigen Kennwerte wird folgendermaßen vorgegangen:

Die monatlichen Heizwärmebedarfswerte für ein "Durchschnittsjahr" und der Normwärmebe-

darf (Auslegungsleistung) sind für das jeweiligen Typgebäude aufgrund des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens (welches standardisiert wird) entsprechend Kapitel 3.1.1. berechnet worden. Da die Leistung des für die Deckung des Heizwärmebedarfs benötigten Kessels in der Regel größer ist als die berechnete Auslegungsleistung (es muß die nächst größere markt-gängige Leistung gewählt werden, außerdem wurde gerade bei älteren Anlagen oft eine Sicherheitsreserve zugeschlagen), wird über einen Dimensionierungsfaktor die Nennleistung des konventionellen Wärmeerzeugers bestimmt. Aus dem Bruttowärmebedarf, der sich aus dem Nettowärmebedarf des Gebäudes zuzüglich Verteilungs- und Speicherverlusten - unter Berücksichtigung von Gutschriften dieser Verluste für die Raumheizung - zusammensetzt, läßt sich die Auslastung des Wärmeerzeugers ermitteln, indem man den Bruttowärmebedarf auf die maximal mögliche Wärmeerzeugung im Betrachtungszeitraum (Monat) bezieht. Der Endenergiebedarf kann dann über eine wärmeerzeugerspezifische Kennlinie ermittelt werden. Diese Kennlinie wird als eine Funktion zweiter Ordnung - charakterisiert durch die Koeffizienten a , b , c - angesetzt und liefert in Abhängigkeit von der Auslastung α den Endenergieeinsatz bezogen auf die maximal mögliche Energiebereitstellung im Betrachtungszeitraum. Im Regelfall würde für die Beschreibung der Wärmeerzeuger eine lineare Funktion ausreichen. Um jedoch auch Sonderfälle wie z.B. Brennwertnutzung berücksichtigen zu können, ist ein quadratischer Term eingeführt worden.

Der Betrachtungszeitraum umfaßt jeweils einen Monat, durch Aufsummation werden die Jahreswerte gebildet.

Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, daß eine einfache analytische Funktion zur Verfügung steht, die datentechnisch leicht zu handhaben ist. Würde man von vornherein eine Nutzungsgradkennlinie benutzen - was von der Darstellung üblicher ist -, so müßte diese erst aufwendig parametrisiert werden (siehe Bild 3-4). Der Erzeugernutzungsgrad ergibt sich hier aus dem Verhältnis Bruttowärmebedarf zu Endenergiebedarf:

$$\begin{aligned}\frac{WE}{WW_N} &= f(\alpha) = a + b\alpha + c\alpha^2 \\ \rightarrow WE &= f(\alpha) \cdot WW_N \\ \eta &= \frac{WW_N}{WE} = \frac{1}{f(\alpha)}\end{aligned}$$

mit WE Endenergieeinsatz

WW_N Bruttowärmebedarf

α Auslastung

a, b, c Koeffizienten der Kennlinie [-]

Die Investitionen für die Wärmeerzeuger sind- um alle Gegebenheiten nachbilden zu können- ebenfalls mittels Koeffizienten einer Funktion zweiter Ordnung angegeben und bestimmen sich in Abhängigkeit von der Nennleistung P_N des Wärmeerzeugers. Sie spiegeln die mittleren Marktpreise (Stand 1989) ohne Mehrwertsteuer wider. Im Preis enthalten sind je nach Typ Investitionen für den Wärmeerzeuger, die Planung und die Installation für das Einzelgerät (einschließlich Regelung), Anschlußinvestitionen für Gas oder Fernwärme und Investitionen für die Kaminanbindung:

$$K_{WE} = f(P_N) = a + bP_N + cP_N^2$$

mit K_{WE} Investitionskosten [DM]

P_N Nennleistung des Wärmeerzeugers [kW]

a, b, c Koeffizienten des Wärmeerzeugers [DM], [DM/kW], [DM/kW²]

Die baulichen Investitionskosten umfassen die Investitionen für den Raumbedarf des Wärmeerzeugers, der Brennstofflagerung und des Wärmespeichers sowie die Kaminanlage. Die Investitionen für den Öltank sind jedoch beim Wärmeerzeuger enthalten.

Sie lassen sich als Funktion in Abhängigkeit von der Wohnfläche nach folgender Formel näherungsweise angeben. Hierbei hat sich die Einführung eines exponentiellen Koeffizienten als günstig erwiesen:

$$K_{bau} = f(A_{Wfl}) = a + (bA_{Wfl})^c$$

mit K_{bau} Bauliche Investitionen [DM]

A_{Wfl} Wohnfläche [m²]

a, b, c Koeffizienten des Wärmeerzeugers [DM], [DM/m²], [-]

Beispielhaft für einen Niedertemperaturkessel mit Ölzerstäubungsbrenner (Stand der Technik), zeigt **Bild 3-4** die Kennlinien für den normierten Energiebezug, den Nutzungsgrad und die Investitionen.

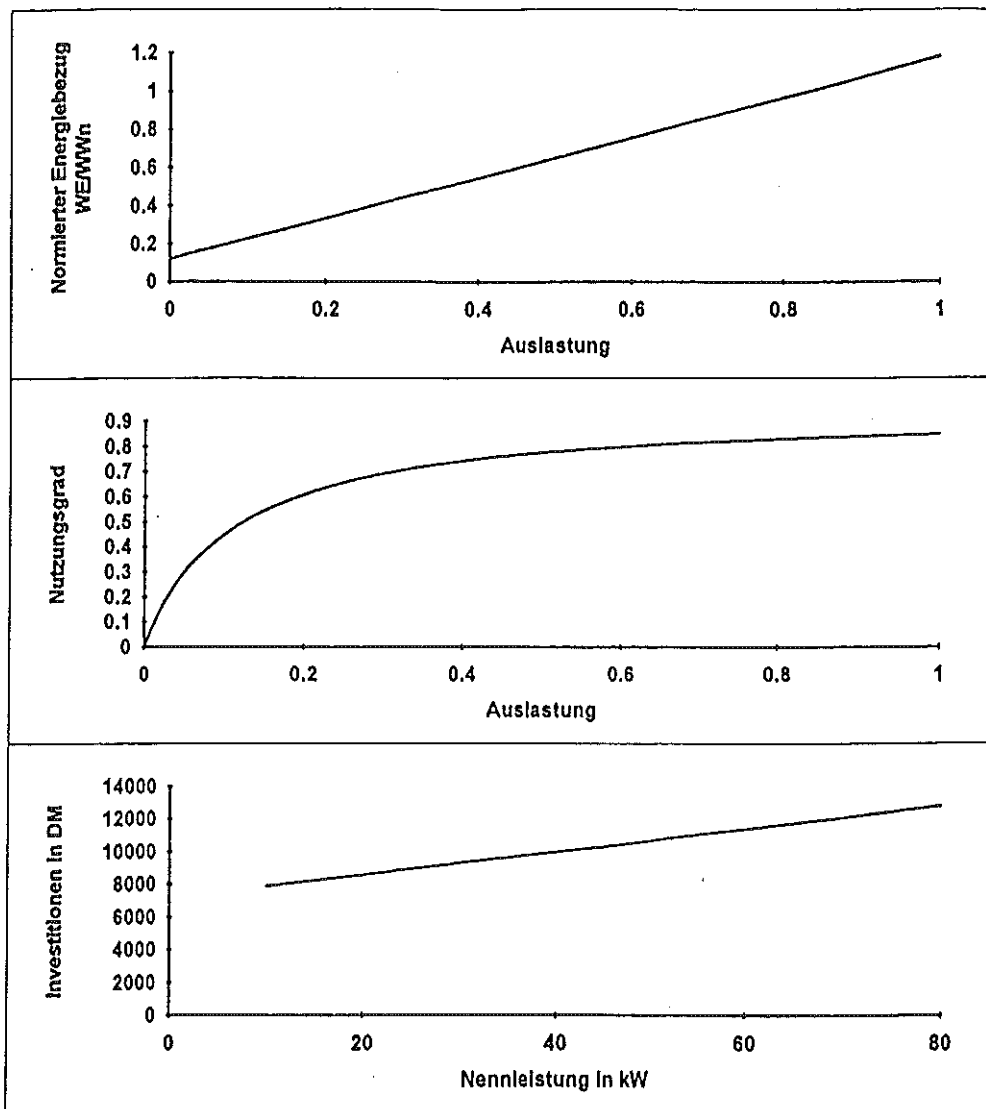


Bild 3-4: Beispiel für Kennlinien für den normierten Energiebezug, den Nutzungsgrad und die Investitionen

Für nichtkonventionelle Wärmeerzeuger, die in der Regel mit konventionellen Wärmeerzeugern kombiniert sind, ist eine etwas aufwendigere Methodik erforderlich. Bei dieser Variante übernehmen Solaranlagen, Wärmepumpen oder Blockheizkraftwerke sowohl Heizung als auch Warmwasserbereitung bis zur Grenze der jeweiligen Deckungspotentiale. Den nicht gedeckten Anteil übernimmt die konventionelle (zentrale) Zusatzheizung.

In Abhängigkeit vom Verhältnis der maximal möglichen Nettowärmeerzeugung des Wärmeerzeugers zum monatlichen Wärmebedarf - dem sogenannten Bereitstellungskoeffizienten - wird der Deckungsgrad des nichtkonventionellen Wärmeerzeugers an der gesamten Heizwärmeezeugung ermittelt. Die maximal mögliche Nettowärmeerzeugung wird beispielsweise bei Solaranlagen von den meteorologischen Bedingungen am Referenzstandort und den Systemdaten des Heizungssystems festgelegt (z.B. von der Globalstrahlung, der Systemtemperatur und dem Konversionsgrad bei Sonnenkollektoren oder bei Wärmepumpen von der Einsatztemperatur des Kältemittels, der Wärmequelletemperatur und der Leistungszahl). Unter idealen Bedingungen könnte die erzeugte monatliche Wärme vollständig genutzt werden, solange sie kleiner oder gleich dem Monatswärmebedarf ist, so daß das Verhältnis Erzeugung zu Bedarf mit dem Deckungsgrad identisch wäre. Realerweise wird jedoch die Erzeugung mit dem Bedarf trotz ausgeglichener Monatsbilanz zeitlich nicht korrelieren, d.h. es könnte zeitweise im Monat mehr Wärme erzeugt werden, die mangels Bedarf nicht genutzt werden kann, wohingegen zu anderen Zeitabschnitten Unterdeckung auftreten kann. Der reale Deckungsgrad ist daher kleiner als der ideale Deckungsgrad und beschreibt den Anteil der nutzbaren Wärme aus nichtkonventioneller Erzeugung am gesamten Wärmebedarf (**Bild 3-5**).

Mit Hilfe des monatlichen Deckungsgrades ist der von dem konventionellen bzw. nichtkonventionellen Wärmeerzeuger zu befriedigende monatliche Bruttowärmebedarf festgelegt, so daß über die Auslastung und die Energiebezugskennlinie analog zu dem für die rein konventionellen Systemen beschriebenen Verfahren der monatliche Endenergiebedarf bestimmt werden kann. Der Jahresendenergiebedarf ergibt sich aus der Summe über die einzelnen Monate.

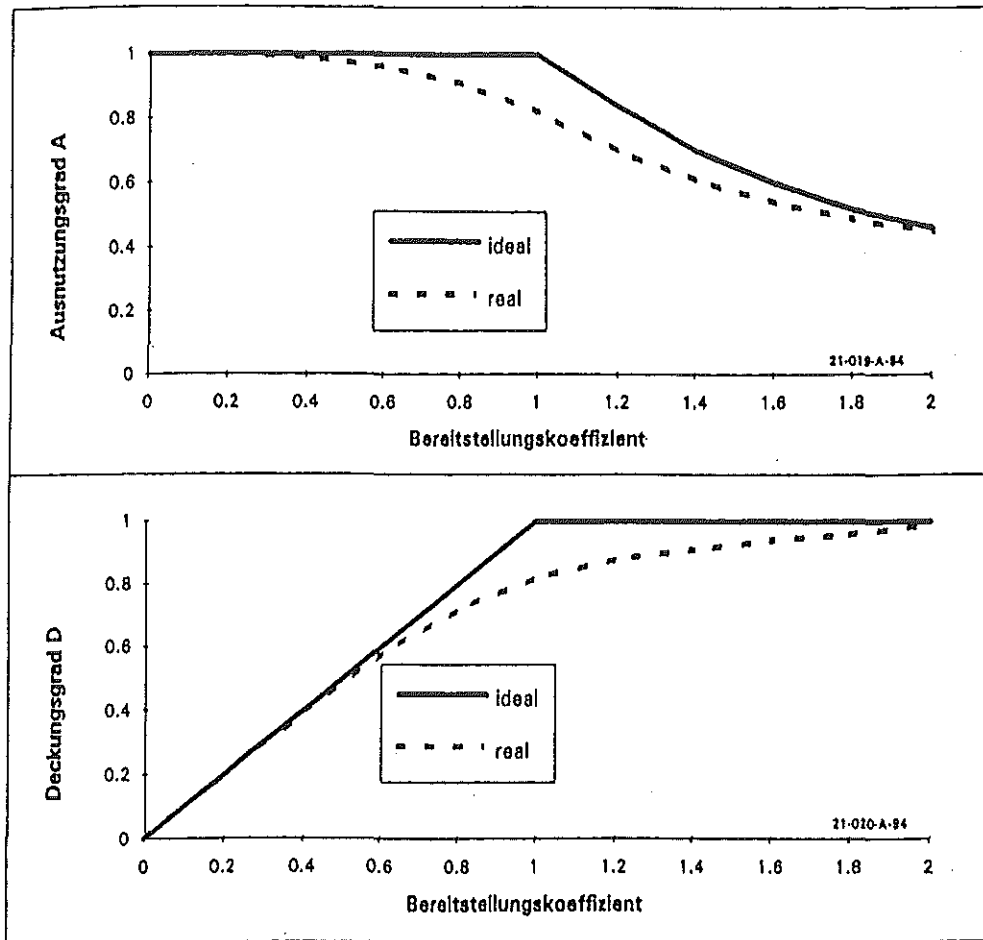


Bild 3-5: Deckungsgrad in Abhängigkeit vom Bereitstellungskoeffizienten (ideal und real)

$$\text{Bereitstellungskoeffizient } BK_{\text{mon}} = \frac{Q_{\text{max,mon}} \cdot P_N}{Q_{H, \text{br, mon}} + Q_{WW, \text{br, mon}}}$$

$$\text{Deckungsgrad } D_{\text{mon}} = f(BK_{\text{mon}})$$

$$\text{Auslastung } \alpha_{\text{mon}} = \frac{(Q_{H, \text{br, mon}} + Q_{WW, \text{br, mon}}) \cdot D_{\text{mon}}}{Q_{\text{max, mon}} \cdot P_N}$$

$$WE_{\text{Ges, mon}} = f(\alpha_{\text{mon}}) \cdot Q_{\text{max, mon}} \cdot P_N$$

$$WE_{\text{Ges, Jahr}} = \sum_{12 \text{ Monate}} WE_{\text{Ges, mon}}$$

| | |
|--------------------------|--|
| mit BK_{mon} | monatlicher Bereitstellungskoeffizient des nichtkonventionellen Wärmeerzeugers |
| $Q_{\text{max,mon}}$ | monatliche maximale Nettowärmeerzeugung des nichtkonventionellen Wärmeerzeugers bezogen auf die Nennleistung [kWh/kW _{Nennleistung}] |
| $Q_{H, \text{br, mon}}$ | monatlicher Bruttoheizwärmebedarf (d.h. incl. Verteilungsverluste) |
| $Q_{WW, \text{br, mon}}$ | monatlicher Bruttowarmwasserwärmebedarf (d.h. incl. Verteilungs- und Speicherverluste) |
| D_{mon} | monatlicher Deckungsgrad des nichtkonventionellen Wärmeerzeugers |
| α_{mon} | monatliche Auslastung des nichtkonventionellen Wärmeerzeugers |
| $WE_{\text{Ges, mon}}$ | monatlicher Endenergiebedarf des nichtkonventionellen Wärmeerzeugers |
| $WE_{\text{Ges, Jahr}}$ | jährlicher Endenergiebedarf des nichtkonventionellen Wärmeerzeugers |

Der **Hilfsenergieverbrauch** wird für die verschiedenen Wärmeerzeuger in Prozent des Endenergiebedarfs angegeben und beinhaltet den Verbrauch für Steuerung, Regelung und zusätzliche Hilfsaggregate (Pumpen, Gebläse etc.)

$$W_{\text{Hilf}} = WE_{\text{Ges, Jahr}} \cdot Q_{\text{Hilf}} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{a}} \right]$$

mit Q_{Hilf} Hilfsenergieverbrauch bezogen auf Energieeinsatz [%]

Für die Heizungs- und Warmwasserverteilungssysteme sind von der Forschungsstelle für Energiewirtschaft /FfE, 1994/ jeweils drei energetische Standards (hoch, mittel, niedrig) festgelegt worden. Die Investitionen sind für den mittleren Standard in Form eines Polynoms zweiten Grades mit den Koeffizienten a, b, c beschrieben und enthalten die Aufwendungen für Material, Installations und Planung. Über Differenzinvestitionen bezogen auf den mittleren Standard können die Investitionen für die anderen Standards errechnet werden.

$$K_{\text{Standard mittel}} = f(A_{\text{Wfl}}) = a + b \cdot A_{\text{Wfl}} + c \cdot A_{\text{Wfl}}^2 \quad [DM]$$

$$K_{\text{Standard niedrig}} = K_{\text{Standard mittel}} \cdot \frac{1}{1 + \Delta_{21}} \quad [DM]$$

$$K_{\text{Standard hoch}} = K_{\text{Standard mittel}} \cdot \left(\frac{1 + \Delta_{31}}{1 + \Delta_{21}} \right) \quad [DM]$$

| | | |
|-----|-------------------------------|--|
| mit | $K_{\text{Standard niedrig}}$ | Investitionskosten Standard 1 (niedrig) |
| | $K_{\text{Standard mittel}}$ | Investitionskosten Standard 2 (mittel) |
| | $K_{\text{Standard hoch}}$ | Investitionskosten Standard 3 (hoch) |
| | Δ_{21} | Differenzinvestitionen Variante 2 zu Variante 1 bezogen auf Variante 1 |
| | Δ_{31} | Differenzinvestitionen Variante 3 zu Variante 1 bezogen auf Variante 1 |
| | A_{Wfl} | Wohnfläche |

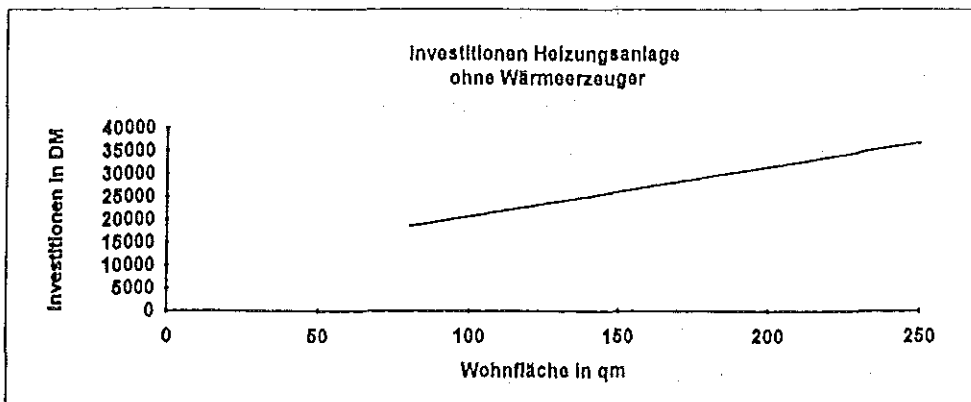


Bild 3-6: Beispiel einer Kostenkennlinie für eine Heizungsverteilung (Zweirohr, Einfamilienhaus)

Zusätzlich werden Beseitigungskosten und Kosten für Wartung und Instandhaltung als Prozentanteil der Gesamtinvestitionen ausgegeben.

Die Beseitigungskosten sind Schätzwerte, die aus Angeboten von Heizungsbauern entnommen sind. Die jährlichen Instandhaltungskosten sind in Anlehnung an VDI 2067 bestimmt worden /FfE, 1992, 1993a-d, 1994/.

3.1.3. Endenergiebedarf für Haushaltsgeräte

Die generelle Vorgehensweise bei Analyse und Synthese des Stromverbrauches /Geiger, u.a./ kann anhand des in **Bild 3-7** enthaltenen Strukturschemas erläutert werden. Mit den 4 Informationsebenen:

- Geräteausstattung und Geräteart,
- Sozialdaten der Haushalte,
- spezifischer Verbrauch von Neugeräten,
- Nutzungsdaten,

die jeweils sehr umfangreiche und detaillierte Angaben enthalten, kann sowohl eine Analyse wie auch eine Synthese des Haushaltsstromverbrauchs vollzogen werden. Einen gewissen Einblick in Art und Umfang der vorhandenen Datenstruktur vermitteln dabei die folgenden Abschnitte.

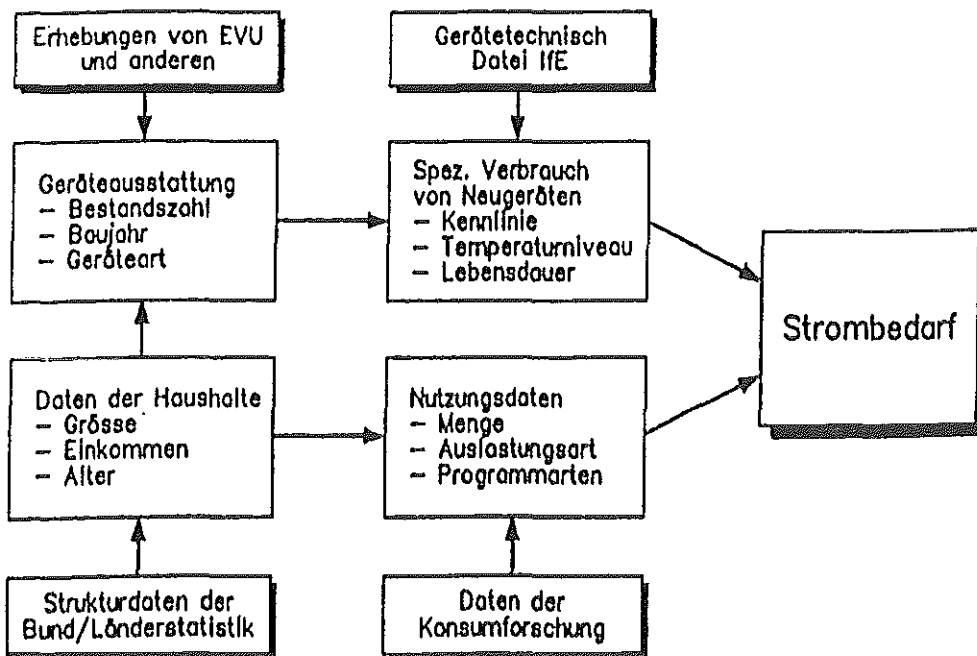


Bild 3-7: Strukturschema zur Analyse des Stromverbrauchs der Haushaltsgeräte

Datenquellen zur Synthese des Haushaltsstromverbrauchs sind im wesentlichen:

- Erhebungen von Versorgungsunternehmen und Marktforschung zum Bestand und zur Altersstruktur von Geräten;
- Inlandsabsatz von Haushaltsgeräten;
- Zählungen und Fortschreibungen des Statistischen Bundesamtes und der Landesämter zur Sozialstruktur der Haushalte;
- Befragungen und Erhebungen der Konsumforschung zu Verbrauchergewohnheiten und Nutzungsprofilen beim Hausgeräteinsatz;
- Auswertungen, Untersuchungen und Messungen zum energetischen Betriebsverhalten von Haushaltsgeräten und zu gerätespezifischen Kenndaten.

Am Beispiel einiger Gerätearten und Energieanwendungen wie Waschen, Kühlen und Beleuchten kann veranschaulicht werden, mit welchen vorliegenden Informationen der Jahresstromverbrauch W_{Wasch} , $W_{Kühlen}$ oder $W_{Beleuchten}$ eines Haushalts bestimmter Größe H im Kalenderjahr t bestimmt werden kann:

Waschmaschine:

$$W_{wasch, t, H} = \sum_{P=1}^n W_{t, P, H} = \sum_{P=1}^n (a_{t_A, P} + b_{t_A, P} \cdot X_t) \cdot Z_{t, P, H, H}$$

mit:

| | |
|--------|--|
| W | Stromverbrauch pro Jahr |
| a, b | gerätetechnische Koeffizienten |
| | a : lastunabhängiger Bedarf |
| | b : lastabhängiger Bedarf |
| X | Wäschemenge pro Waschgang (Auslastung) |
| Z | Anzahl der Waschgänge pro Jahr |

Indices:

| | | | |
|-----|----------------|-------|------------------|
| t | Kalenderjahr | t_A | Anschaffungsjahr |
| H | Haushaltsgröße | | |
| P | Programmart | | |

Für andere Gerätearten wird der zugehörige Stromverbrauch auf analoge Weise errechnet, die zugrundeliegenden Daten sind im Detail belegbar. Trotz einer Vielzahl von nur bedingt repräsentativ erhobenen Daten und Informationen, können so recht belastbare Aussagen getroffen werden, da Gerätebestand und Gerätetechnik, energierelevante Gerätemerkmale, Geräteeinsatz und Verbrauchergewohnheiten berücksichtigt sind. Tabelle 3-4 gibt hierzu eine Übersicht über Umfang und Qualität der Daten zum geräte- und nutzerspezifischen Energieverbrauch. Die mit Bild 3-7 skizzierte Verknüpfungstechnik zur Analyse und Synthese des Haushaltsstromverbrauchs führt somit zu Aussagen, die nicht auf pauschalen Annahmen und Kennwerten, sondern auf einer Vielzahl von zahlenmäßig belegbaren Einzeleinflüssen beruhen. Tendenzen und Niveaus des künftigen Strombedarfs privater Haushalte können damit fundiert belegt werden.

| Geräte-/ Anwendungsart | Datenbankinformationen zum Haushaltsmodell |
|--|--|
| Beleuchtung | Raumtypen: Wohnen, Schlafen, Küche u. Naßbereich und sonst. Räume |
| | Lampentypen: Glühlampe, Kompaktleuchtstofflampe und Leuchtstofflampe |
| | Raumflächen nach Raumtypen |
| | installierter flächenspezifischer Lichtstrom nach Raum- und Lampentypen |
| | Lichtausbeute nach Raum- und Lampentypen |
| | Ausnutzungsdauer des installierten flächenspezifischen Lichtstroms |
| | Verbrauchstage |
| Kühlen (Erstgeräte und Mehrfachausstattung) | Kühlschrantypen: 0-2*, 3*, 4*-Kühlschränke und Kühl-Gefrierkombinationen |
| | spezifischer Verbrauch nach Kühlschrantyp |
| | Kühlvolumen nach Kühlschrantyp |
| | Marktanteile der Gefriergerädetypen |
| Gefrieren (Erstgeräte und Mehrfachausstattung) | Gefriergerädetypen: Gefriertruhe und Gefrierschrank |
| | spezifischer Verbrauch nach Gefriergerädetyp |
| | Kühlvolumen nach Gefriergerädetyp |
| | Marktanteile der Gefriergerädetypen |
| Elektroherd | spezifischer Verbrauch |
| Waschen | Waschprogramme: Kochwäsche, Buntwäsche 60°C, bügelfreie Wäsche und Feinwäsche (je- weils Hauptwäsche, Vor- und Hauptwäsche) |
| | spezifischer Verbrauch (Füllmengenunabhängiger Anteil) |
| | spezifischer Verbrauch (Füllmengenabhängiger Verbrauch) |
| | Füllmenge pro Waschgang |
| | Waschgänge pro Jahr |
| Wäschetrocknen | Trocknertypen: Kondensationstrockner, Ablufttrockner (feuchtigkeitsgesteuert) und Ablufttrockner (zeitgesteuert) |
| | Art der Trocknung: schranktrocken, bügelfeucht und pflegeleicht |
| | spezifischer Verbrauch (Füllmengenunabhängiger Anteil) |
| | spezifischer Verbrauch (Füllmengenabhängiger Verbrauch) |
| | Füllmenge pro Trockengang |
| Geschirrspülen | Trockengänge pro Jahr |
| | Spülprogramme: Normal- und Sparprogramm |
| | spezifischer Verbrauch (Füllmengenunabhängiger Anteil) |
| | spezifischer Verbrauch (Füllmengenabhängiger Verbrauch) |
| Fernsehen herkömmlicher Technologie (Geräte mit Bildröhre) | Spülgänge pro Jahr |
| | Betriebszeit |
| | spezifischer Verbrauch beim Betrieb |
| | stand-by-Zeit |
| Fernsehen neuer Technologie (Einführung ab ca. 2000) | spezifischer Verbrauch im stand-by |
| | Betriebszeit |
| | spezifischer Verbrauch beim Betrieb |
| | stand-by-Zeit |
| elektr. Direktheizung | spezifischer Verbrauch im stand-by |
| | spezifischer Verbrauch |
| Sonstiges | mittlerer spezifischer Verbrauch aller in einem Haushalt vorhandenen sonstigen Geräte |

Tabelle 3-4: Geräte- und anwendungsbezogene Informationen zum Haushaltsmodell

3.2. Strukturierung der Daten im Hinblick auf die ORACLE-Datenbank

Die von TP 5 ermittelten Daten werden in der FIZ-Datenbank im wesentlichen in vier Dateien (**Bild 3-8**) abgespeichert:

- In der Gebäude-Datei sind die Geometriedaten der Typhäuser enthalten (Flächen etc.).
- In der Bauphysik-Datei werden die durch Energieeinsparmaßnahmen veränderbaren Daten (Wärmedurchgangskoeffizienten, Nutzereinflüsse etc.), die dafür aufzuwenden Kosten und die Heizwärmebedarfswerte abgelegt.
- In der Heizungs-Datei sind die heizungstechnischen Kenngrößen gespeichert (Wirkungsgrade, Nutzungsgrad-Kennlinien, Kostenkennlinien, spez. Emissionen etc.).
- Die aus der Verknüpfung der ersten drei Dateien resultierenden Werte werden in eine Ergebnis-Datei eingespielt (Nutzungsgrad, Emissionen, Gesamtkosten etc.).

Weitgehend unabhängig hiervon wird eine Haushaltsgeräte-Datei für die energetischen Kennwerte der Haushaltsgeräte und eine Bestands-Datei für die Bestandsgrößen der Typegebäude, der Heizungssysteme und der Haushaltsgeräte angelegt. Beispiele für konkrete Datenbankinhalte werden in Kap. 7 gezeigt.

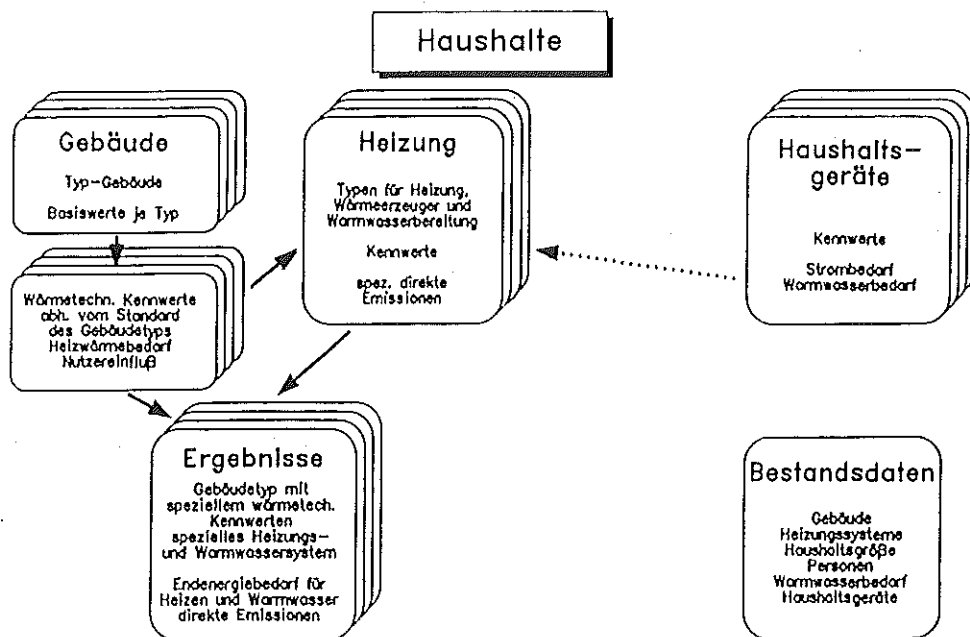


Bild 3-8: FIZ-Dateistruktur für Detaildaten zu Gebäude, Heizung und Warmwasserbereitung

3.3. Eingriffsmöglichkeiten mittels Tools

Ein mit Energie- und Emissionsfragen befaßter Entscheidungsträger oder ein an solchen Fragen Interessierter soll mit den von den Teilprojekten zusammengetragenen Daten eigene Szenarien zum Stand und zu der Entwicklungsperspektive des Energieverbrauchs, der energiebedingten Emissionen und der Kosten zur Reduktion der Emissionen berechnen können. Hierzu stehen dem Anwender drei Instrumente zur Verfügung:

- Datenbank (TP 2)
- Teilmodelle Raumwärme, Verkehr, Strom (TP 1)
- LP-Modell (TP 1)

Die in der FIZ-Datenbank abgelegten Daten sind für das LP-Modell nicht direkt verwertbar, da die Werte so abgelegt sind, daß ein Nutzer - ohne Umrechnungen durchführen zu müssen - recherchieren kann. Für die Optimierung müssen die Daten weiter aggregiert und in optimierbare Größen sowie für alle Teilprojekte einheitliche Dimensionen umgerechnet werden. Die Eingangsdaten für das LP-Modell werden als Teil der wesentlich umfangreicheren FIZ-Datenbank abgespeichert.

Um den Nutzern die Möglichkeit zu geben, beide Instrumente - LP-Modell und Datenbank - unabhängig voneinander bedienen zu können, werden diese Eingangsdaten in eine weniger umfangreiche "LP-Datenbank" übertragen, in welcher lediglich die Daten abgespeichert sind, die das Modell zum Rechnen benötigt. Der Nutzer kann diese Daten überarbeiten und an seine Erfordernisse anpassen. Dies ist in der Ursprungsdatenbank nicht erlaubt.

Für Detailrecherchen ist weiterhin die FIZ-Datenbank notwendig.

Um dem Benutzer den Zugriff auf diese Fülle von Daten zu erleichtern, ist ein umfangreiches menügeführtes Retrievalsystem vorgesehen. Die von TP 5 als Arbeitsmodule ("Tools") eingesetzten Softwarepakete sind in diese Benutzeroberfläche integriert. Mit diesem Instrument kann der Anwender einzelne Energieeinspartechniken durch Verknüpfung eines Typgebäudes mit einer passenden Heizungs- und Warmwasserverteilung sowie einem Wärmeerzeuger miteinander vergleichen. Die so erzeugten Ergebnisse können dann mit einem weiteren Tool bei Bedarf zu "LP-tauglichen" Daten umgewandelt werden.

Die hohe Komplexität des Sektors **Haushalte** bedingt, daß TP 5 nicht alle möglichen Verknüpfungen durchrechnen, sondern nur Querschnittsuntersuchungen zur Selektion besonders effizienter Maßnahmen durchführen kann. Daher wird von TP 1 mit Unterstützung von TP 5 ein bedienerfreundliches, dialogorientiertes **Teilmodell Raumwärme** erstellt. Mit diesem Teilmodell kann der Nutzer eigene Varianten untersuchen, die über die durch das Datenbank-Tool bereitgestellten Möglichkeiten hinausgehen. So können mit dem Raumwärmemodell der Heizwärmebedarf bisher nicht in der Datenbank vorhandener Gebäude oder bei von den hier angenommenen Standardbedingungen abweichendem Nutzerverhalten berechnet werden. Die Ergebnisdaten aus dem Teilmodell Raumwärme sollen einerseits in der Datenbank hinterlegt, andererseits dem LP-Modell der STE zur Verfügung gestellt werden können.

Mit dem Teilmodell können nur Fragen innerhalb des Sektors **Haushalte** beantwortet werden. Für sektorübergreifende, gesamtwirtschaftliche Simulationen sowie für Optimierungsaufgaben nach Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten wird das **LP-Modell** herangezogen.

Aufgrund der Beschränkung des LP-Modells auf direkt proportionale (lineare) Zusammenhänge und eine begrenzte Anzahl von Technologien muß vom Teilmodell aus der Fülle möglicher Varianten eine Vorauswahl an Maßnahmen getroffen werden und als nach Kosten und Emissionen abgestuftes Maßnahmenpaket dem LP-Modell angeboten werden. Aus diesem Maßnahmenpaket wählt dann das LP-Modell unter Berücksichtigung der Rückwirkungen aus anderen Sektoren die unter Kostengesichtspunkten optimale Lösung aus.

Einen Überblick über die verschiedenen Arbeitsmittel im Raumwärmesektor gibt **Bild 3-9**:

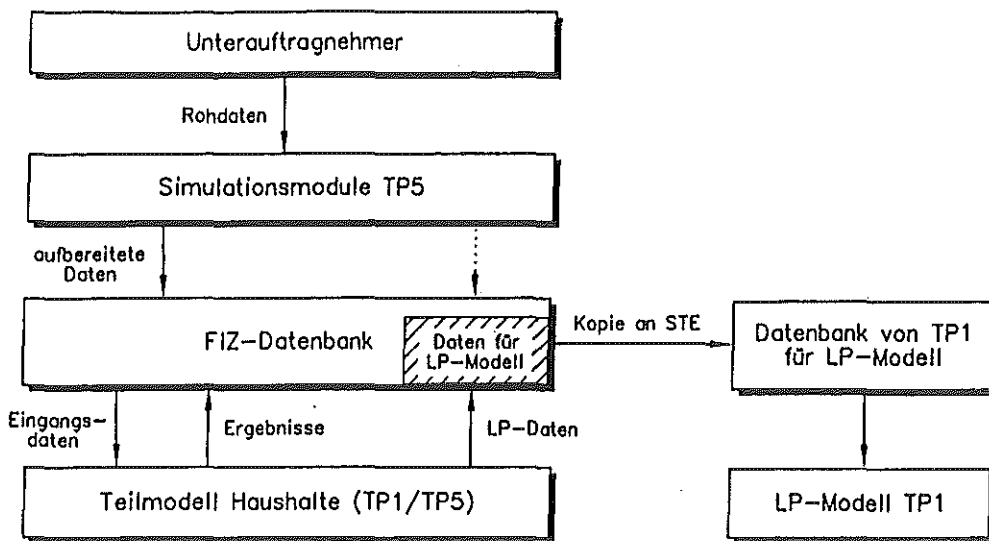


Bild 3-9: Modellschema "Raumwärme"

3.4. Prinzipielle Struktur des LP-Modells für den Sektor Haushalte

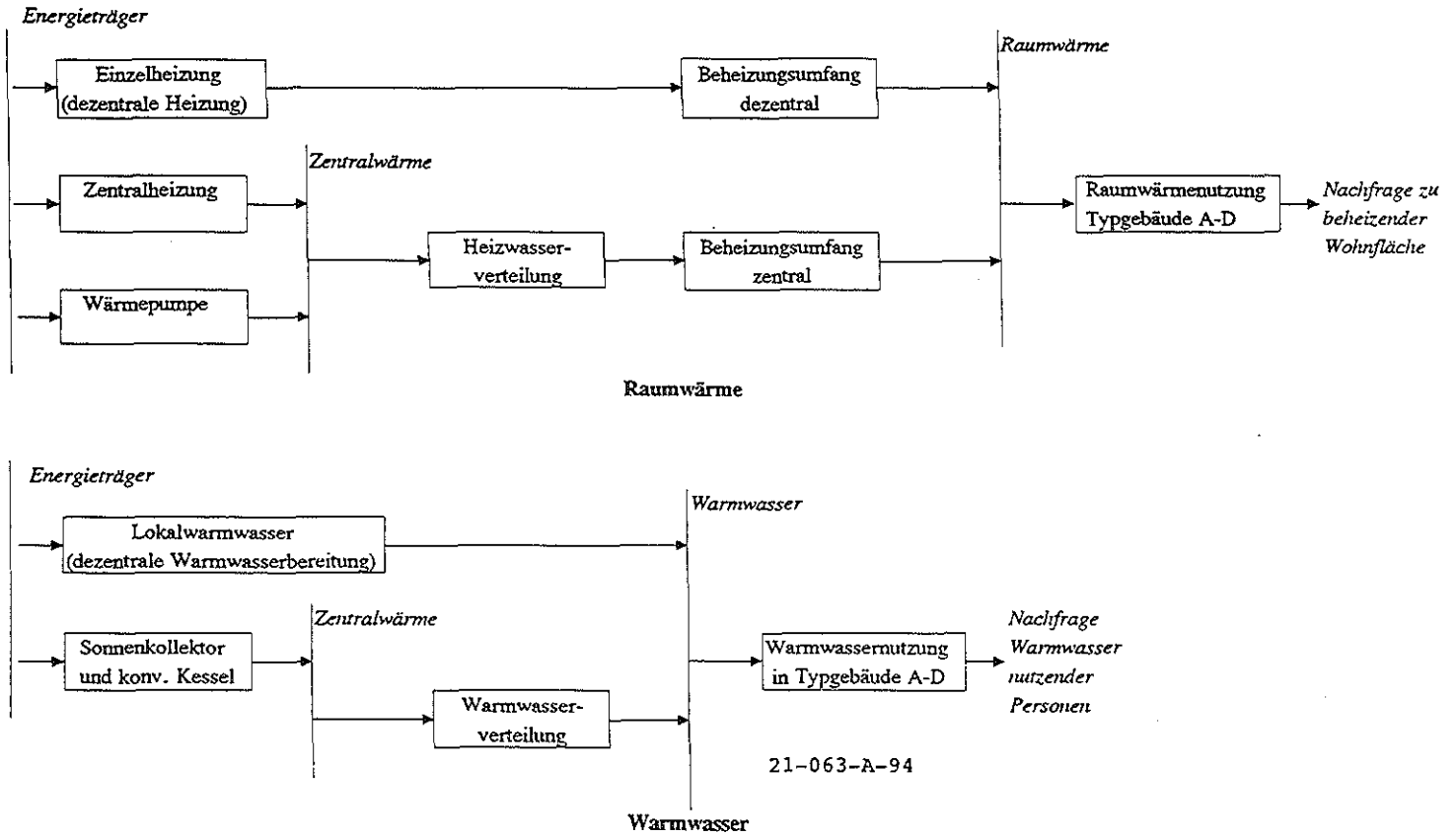
Das Kernstück des IKARUS-Instrumentariums ist das technik-orientierte Optimierungsmodell, das von der KFA-STE, Jülich programmiert wird. Dieses Modell bildet den Energiefluß der Bundesrepublik Deutschland ab und arbeitet nach der Methode der linearen Programmierung - daher auch **LP-Modell**. Optimierungskriterium ist die Minimierung der Gesamtsystemkosten unter vorgegebenen Randbedingungen wie z.B. einer CO₂-Reduktionsvorgabe.

Die Energieflüsse werden von der Nutzenergieseite bis zur Primärenergieseite in Kategorien von Energieträgern (z.B. Erdgas für Einfamilienhäuser) bzw. Energiedienstleistungen (z.B. Raumwärme für Einfamilienhäuser) abgebildet und berechnet. Ausgangspunkt ist die Nachfrage nach diesen Energiedienstleistungen wie z.B. nach Raumwärme (Quadratmeter zu beheizender Wohnfläche in Einfamilienhäuser).

Das gesamte Modellenergiesystem ist in 6 Hauptsektoren entsprechend den Energiebilanzen untergliedert (Primärenergie, Umwandlung, Private Haushalte, Kleinverbraucher, Industrie, Verkehr). Alle Hauptsektoren sind wieder in Subsektoren unterteilt, so z.B. der Haushaltssektor in Ein-/Zweifamilien- und Mehrfamilienhäuser, wobei nochmals nach Alt- und Neubau unterschieden wird (4 Typgebäude A-D). Jeder dieser Subsektoren wird wiederum durch eine Vielzahl repräsentativer Techniken beschrieben, die durch ihren spezifischen Energieträgereinsatz, ihre Investitionen und Emissionen charakterisiert und über ein Gleichungssystem miteinander verknüpft sind. Der Haushaltssektor ist mit insgesamt 104 verschiedenen Heizungssystemen, 40 bauphysikalischen Maßnahmen und 31 Haushaltsgeräten (incl. Warmwassererzeugern) vertreten, die sich auf die 4 vorgenannten Gebäudetypen aufteilen. Insgesamt beinhaltet das Modell ca. 2000 repräsentative Techniken, die als sogenannte "Platzhalter" vorgehalten werden. Diese Platzhalter werden im Rahmen des IKARUS-Projektes von den Teilprojekten defaultmäßig vorbelegt, können aber vom Nutzer entweder manuell oder mit Hilfe der im vorigen Kapitel vorgestellten Tools verändert werden.

Einen Überblick über die Verknüpfung der im Sektor Haushalt zur Verfügung stehenden Platzhalter gibt **Bild 3-10**. Jedes "Technikkästchen" repräsentiert dabei beispielhaft einen Datensatz, der die spezifischen Kennwerte (Energieinput, Investitionen, Emissionen pro Energieoutput) des entsprechenden Platzhalters enthält.

Bild 3-10: Prinzipschema des LP-Modells für den Bereich Private Haushalte



Unter dem Platzhalter "Raumwärmenutzung" ist eine Maßnahme an einem Gebäude zu verstehen. Diese "Maßnahme" kann auch der Ist-Zustand des Gebäudes sein, der dann natürlich nicht mit Investitionen belegt ist. Insgesamt sind modellintern gleichzeitig 11 Maßnahmen je Gebäudetyp (A-D) am Gebäudebestand vorgesehen, so daß ein Teil des Gebäudebestandes vom Modell im Ist-Zustand belassen werden kann, andere Teile mit verschiedenen Dämmmaßnahmen wärmetechnisch verbessert werden können. Das Modell kann somit nach Effizienzkriterien einen Gebäudemix zusammenstellen. Der flächenspezifische Raumwärmebedarf dieser "Maßnahmen" wird entsprechend der modellinternen Wichtung gemittelt und mit der Nachfrage nach zu beheizender Wohnfläche hochgerechnet.

Der Gesamtraumwärmebedarf muß schließlich von den Heizungssystemen unter Berücksichtigung des Beheizungsumfangs und - bei Zentralheizungen - des Verteilungsnutzungsgrades befriedigt werden. Bei den Heizungssystemen sind allerdings nicht wie bei dem Platzhalter "Raumwärmenutzung" verschiedene Maßnahmen vorgesehen, sondern es gibt z.B. innerhalb der in Bild 3-10 dargestellten Gruppe der Zentralheizungen lediglich einen Platzhalter für jeden bei den Privaten Haushalten in der BRD eingesetzten und in Zukunft einsetzbaren Energieträger.

Will der Nutzer des LP-Modells folglich Einsparmaßnahmen durch Verbesserung der Heizungssysteme rechnen, so muß er zwei Modellläufe durchführen, bei denen die Heizungssysteme ausgetauscht werden müssen.

Ein weiteres Problem, das sich aufgrund der notwendigen Aggregation und Vereinfachung des Modells ergibt, besteht darin, daß die Investitionen für den Wärmeerzeuger direkt proportional zu den Energiebedarfswerten sind, was in der Realität nur eingeschränkt der Fall ist. Dies bedeutet, je geringer der Raumwärmebedarf des Gebäudes ist, desto billiger wird auch der Wärmeerzeuger. Das hat zur Folge, daß je nach vom Modell gewählten Maßnahmen zur Raumwärmenutzung die Platzhalter für die Wärmeerzeuger angepaßt werden müssen. Hierfür werden von Teilprojekt 5 geeignete Platzhalter zur Verfügung gestellt.

Zu beachten ist weiterhin, daß für das Basisjahr 1989 die Energiebilanz nur in der Summe mit ausreichender Genauigkeit nachgebildet werden kann, da durch die modellbedingte Trennung von Gebäude und Heizung keine Gewichtung des Raumwärmebedarfs nach Energieträgern durchgeführt werden kann. So wird z.B. der Energieträger *Heizöl* vom Modell überbewertet, da der mittlere Raumwärmebedarf der 4 Typegebäude höher ist, als der mittlere Raumwärmebedarf von ölbeheizten Gebäuden in der Realität. Andere Energieträger werden entsprechend unterbewertet.

4. Die heutige energiewirtschaftliche Situation im Sektor Haushalte

4.1. Endenergiebedarf und Emissionen für Raumwärme und Warmwasserbereitung, alte Bundesländer, 1989

Auf der Grundlage der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Methodik ist eine Hochrechnung des Endenergiebedarfs für Raumheizung und Warmwasserbereitung, mit einer Abschätzung der dabei entstehenden Emissionen, durchführbar. Durch einen Vergleich mit den Werten der Energiebilanz 1989 können die getroffenen Annahmen und die Vorgehensweise überprüft werden.

Neben den bereits beschriebenen Daten über die Typgebäude - mit Angaben zu Geometrie, energetischen Kennwerten und Flächenbestand - und Heizsystemen und dem Berechnungsverfahren zur Endenergiebedarfsbestimmung werden Informationen über die Beheizungsstruktur des Wohngebäudebestands benötigt. Detaillierte Angaben finden sich auch in den IKARUS-Berichten TP 5-11 und TP 5-28.

4.1.1. Beheizungsstruktur

- Raumwärme

Eine Sonderauswertung der Volkszählung 1987 /Kolmetz, u.a., 1992/ (Tabelle B, "Wohnflächen in m²") enthält eine Aufschlüsselung der Wohngebäude nach Wohnungsgröße und Baualter mit Wohnflächenangaben für unterschiedliche Heizungstechniken (Altersstruktur siehe Kapitel 5.).

Dabei wird zwischen Sammel- und Einzelöfen sowie nichtkonventionellen Systemen (Wärmepumpen und Solaranlagen) unterschieden. Die Sammelheizungen untergliedern sich weiter in Fern-, Block-, Zentral- und Etagenheizungen. Bei allen erhobenen Heizsystemen - außer der Fernheizung und den Nichtkonventionellen - werden die verwendeten Energieträger (Gas, Heizöl, Strom, Kohle) angegeben. Bei Kohle werden auch die übrigen Brennstoffe wie Holz etc. geführt.

Für die Hochrechnung wird der Bereich solare Heizung und Wärmepumpe zu 100% den Wärmepumpen zugeordnet. Bei den Einzelofenheizungen, bei denen vom Statistischen Bun-

desamt z.T. mehrere Energieträger zusammengefaßt sind, sind die entsprechenden Flächen nach einem prozentualen Schlüssel jeweils einer Energieträgerart zugeordnet worden.

In **Bild 4-1** ist die Beheizungsstruktur der verschiedenen Baualtersklassen, unterschieden nach Sammel- und Einzelofenheizungen für Ein-/Zweifamilienhäuser dargestellt. Die analogen Bilder für Mehrfamilienhäusern finden sich in Bericht TP 5-28.

Hieraus wird ersichtlich, daß die Verteilung sowohl nach Baualtersklassen als auch nach der Gebäudegröße variiert. Insgesamt sieht man mit abnehmendem Baualter eine Verringerung von Einzelofenheizungen und eine Zunahme der Sammelheizungen.

Bei den Ein- und Zweifamilienhäusern setzen sich die durchschnittlich 77% Zentralheizungen aus 64% Öl-, 30% Gas-, 4% Kohle- und 2% Strom-Heizungen zusammen. Die ca. 20% Einzelöfen werden zu 39% mit Kohle, zu 31% mit Strom, zu 24% mit Heizöl und zu 6% mit Gas beheizt. Ca. 2% der Wohnungen werden mit Wärmepumpen und knapp 1% mit Fernwärme versorgt.

Mehrfamilienhäuser sind zu ca. 69% mit Zentralheizungen ausgestattet, wovon 51% Öl- und 47% Gasheizungen sind. Die 21% Einzelöfen ergeben sich aus 30% Strom-, 27% Kohle-, 26% Gas- und 17% Heizöl-Öfen. Wärmepumpen haben bei den Mehrfamilienhäusern keine Bedeutung, wogegen Fernwärme in 10% dieser Gebäude genutzt wird.

Es zeigt sich bei Sammelheizungen eine Verschiebung vom Energieträger Heizöl zu Erdgas bei Gebäuden mit Baujahren nach 1978. Die wohnflächenstärksten Jahrgänge 1958-1978 haben bei Einfamilienhäusern mit 64% und bei Mehrfamilienhäusern mit 49% den höchsten Anteil an Öl-Sammelheizungen.

Betrachtet man die Gesamtwohnfläche der alten Bundesländer, so sind 21% mit Einzelöfen und 79% mit Sammelheizungen, davon 4% mit Fernwärme und 1% mit Wärmepumpen beheizt.

Beheizungsstruktur

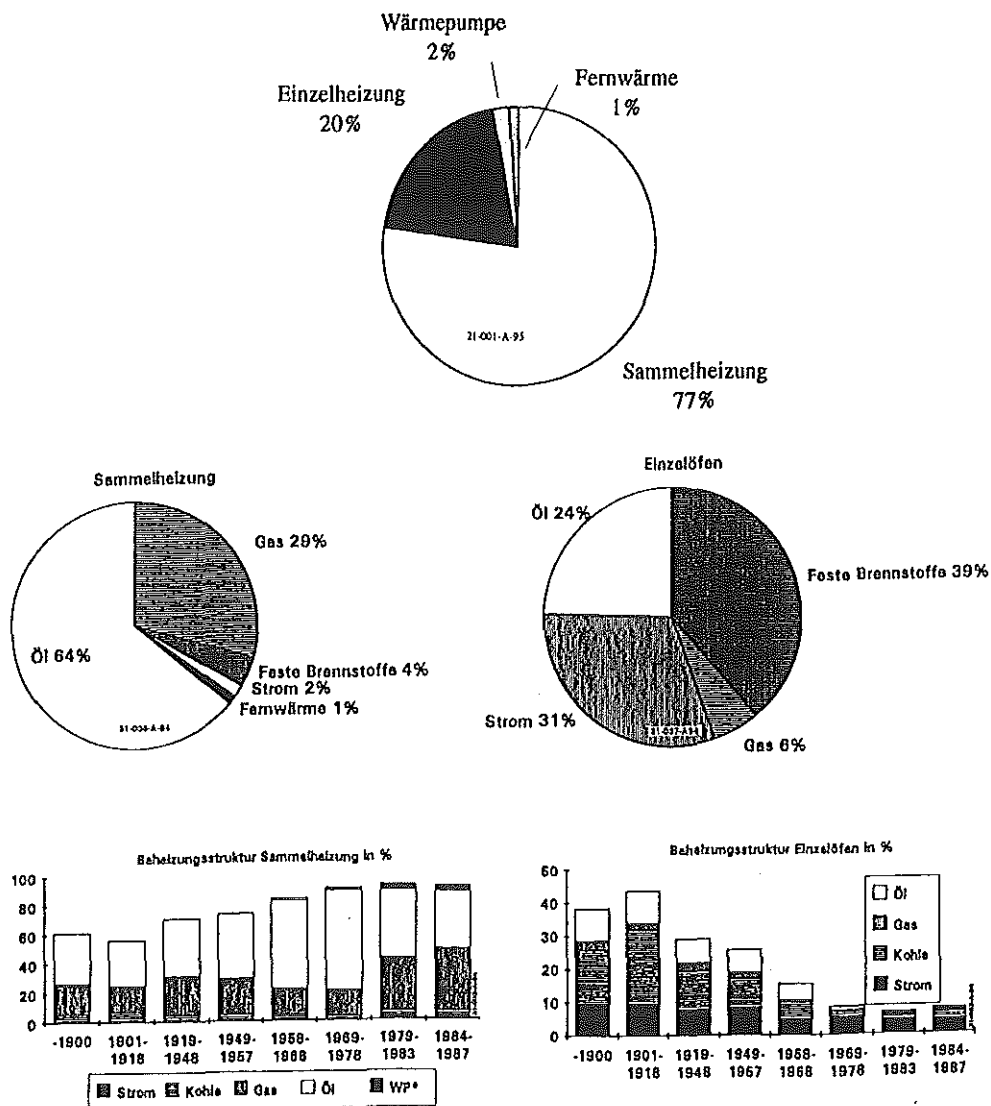


Bild 4-1: Beheizungsstruktur der Wohngebäude mit 1-2 Wohnungen nach Beheizungsart, Energieträger und Baualtersklassen, bezogen auf die Wohnfläche, alte Bundesländer, 1987, * WP...Wärmepumpe

Die detaillierte Beheizungsstruktur mit den Bestandsdaten und dem spezifischen Heizwärmebedarf für jeden Gebäudetyp sind die Voraussetzungen für die Berechnung des Endenergiebedarfs der alten Bundesländer, 1989. Für den Neubaubereich der Jahre 1988 und 1989 wird die gleiche Struktur in der Beheizung angenommen wie für den Baualtersbereich 1984 bis 1987, da hierfür keine anderen Daten zur Verfügung stehen. Für diesen Zeitraum ist jedoch mit einer weiteren Verschiebung der Energieträger von Öl zu Gas und einer Zunahme der Bedeutung von Fernwärme bei den Zentralheizungen zu rechnen. Diese Tendenz ist aus **Bild 4-2**, das die Energieträgeranteile nach TP 5 und nach einer Berechnung von /Prognos, 1992/ (Tabelle 4.1-5) am zentral beheizten Wohnflächenbestand für 1989 gegenüberstellt, zu erkennen.

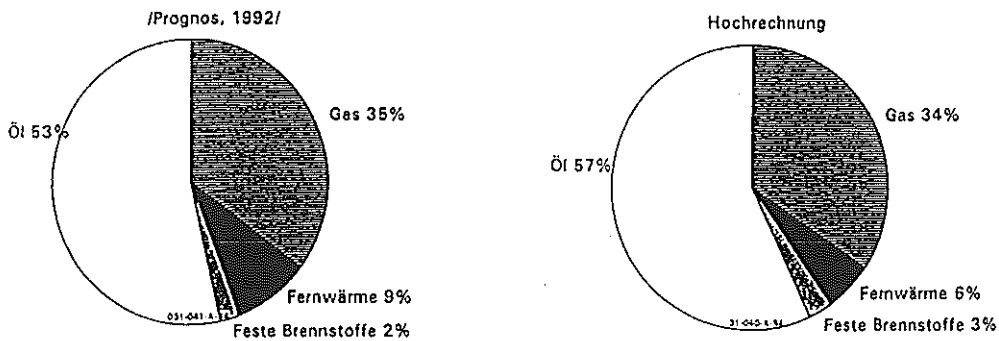


Bild 4-2: Energieträger für Raumheizung, Anteile am zentral beheizten Wohnflächenbestand, alte Bundesländer, 1989

- Warmwasserbereitung

Für die Warmwasserbereitung gibt es zentrale und dezentrale Techniken. Der Anteil der zentralen Warmwasserversorgung am Sammelheizungsbestand geht aus /Prognos, 1992/ (Tabelle 4.1-13) hervor:

| Warmwassersystem | Anteil |
|---------------------|--------|
| Öl-Sammelheizung | 76% |
| Gas-Sammelheizung | 55% |
| Kohle-Sammelheizung | 62% |
| Fernwärme | 66% |

Tabelle 4-1: Anteil der Wohnungen mit zentraler Warmwasserversorgung am Sammelheizungsbestand, alte Bundesländer, 1989

| Gebäude | Anteil dezentrale WWB [%] | Gesamtfläche dezentrale WWB [Mio m²] | Gebäude | Anteil dezentrale WWB [%] | Gesamtfläche dezentrale WWB [Mio m²] |
|---------|---------------------------|--------------------------------------|---------|---------------------------|--------------------------------------|
| EFHWA | 57,7 | 29,3 | | | |
| EFHWB | 52,1 | 16,0 | RDHWA | 63,1 | 94,7 |
| EFHWC | 49,6 | 29,9 | RDHWC | 53,0 | 55,8 |
| EFHWD | 47,9 | 28,6 | RDHWD | 49,2 | 45,3 |
| EFHWE | 39,9 | 37,6 | RDHWE | 39,3 | 69,7 |
| EFHWF | 32,9 | 24,8 | RDHWF | 34,0 | 67,8 |
| EFHVG | 33,7 | 12,0 | RDHVG | 35,6 | 32,9 |
| EFHWH | 36,1 | 9,8 | RDHWH | 37,9 | 29,3 |
| Summe | | 188,0 | Summe | | 395,4 |
| KMHWB | 60,1 | 24,9 | GMHWA | | |
| KMHWC | 57,9 | 24,4 | GMHWB | 63,5 | 40,7 |
| KMHWD | 56,4 | 31,3 | GMHWC | 56,7 | 18,5 |
| KMHWE | 57,6 | 36,6 | GMHWD | 58,4 | 38,7 |
| KMHWF | 45,0 | 46,4 | GMHWE | 44,9 | 33,1 |
| KMHVG | 35,0 | 23,9 | GMHWF | 36,2 | 19,3 |
| KMHWH | 39,4 | 8,2 | GMHVG | 39,6 | 11,9 |
| | 41,6 | 7,0 | GMHWH | 40,8 | 10,9 |
| Summe | | 202,5 | Summe | | 173,1 |
| HOHWE | 35,5 | 15,1 | | | |
| HOHWF | 35,5 | 24,9 | | | |
| Summe | | 40,0 | | | |

Tabelle 4-2: Wohnflächenanteil der Typgebäude mit dezentraler Warmwasserbereitung, alte Bundesländer, 1989

Bei Gebäuden mit Wärmepumpen- bzw. Strom-Zentralheizungen wird zu 100% zentrale, bei Wohnungen mit Einzelöfen zu 100% dezentrale Warmwasserbereitung angenommen.

Summiert man die Ergebnisse von **Tabelle 4-2** so erhält man eine Gesamtwohnfläche von 998,9 Mio m² oder 45% mit dezentraler Warmwasserbereitung. Der Rückgang der dezentralen Warmwassererzeuger um 20-25% im Vergleich Altbau/Neubau resultiert vorwiegend aus der Zunahme von Zentralheizungen mit gleichzeitiger Warmwasserversorgung und einer Abnahme der Bedeutung von Einzelöfen. Aufschluß über die Differenzierung innerhalb der dezentralen Heißwassergeräte enthält /Marktforschung, 1992/ (Tabelle 4.2.3.1), woraus **Tabelle 4-3** abgeleitet ist.

| Gerät | Anteil in [%] |
|----------------------------|---------------|
| Elektro-Durchlauferhitzer | 33 |
| Elektro-Warmwasserspeicher | 47 |
| Gas-Durchlauferhitzer | 14 |
| Gas-Warmwasserspeicher | 5 |

Tabelle 4-3: Anteile unterschiedlicher Warmwassergeräte an der dezentralen Warmwasserbereitung

/Prognos, 1992/ (Tabelle 4.1-14) gibt in Übereinstimmung mit **Tabelle 4-3** für Elektroheißwasserbereiter 81% und für Gasheißwasserbereiter 19% an.

4.1.2. Effizienz des Wärmeerzeugerbestandes

Unter Beachtung der Dimensionierung der Wärmeerzeuger und des Standards der Wärmeverteilung werden für mehrere repräsentative Ensemblegebäude die Nutzungsgrade für das Gesamtsystem *Gebäude und Heizung* mit dem in Kapitel 3. vorgestellten Berechnungsverfahren ermittelt. Mit Hilfe dieser Nutzungsgrade und dem Heizwärmebedarf der Typgebäude kann dann eine Hochrechnung des Endenergiebedarfs durchgeführt werden (siehe auch Bericht TP 5-28).

Für die alten Bundesländer erhält man nach Auswertung der Einzelrechnungen für die verschiedenen Ensemblegebäude und Wärmeerzeuger folgende durchschnittliche Nutzungsgrade:

| | Raumheizung | Warmwasser |
|--|-------------|------------|
| Zentralheizung: | | |
| - Gas: | 0,80 | 0,38 |
| - Öl: | 0,79 | 0,38 |
| - Strom: | 0,79 | 0,34 |
| - Kohle: | 0,63 | 0,26 |
| - Fernwärme: | 0,85 | 0,41 |
| Etagenheizung: | | |
| - Gas: | 0,65 | 0,27 |
| Einzelofen: | | |
| - Gas: | 0,78 | |
| - Öl: | 0,64 | |
| - Strom: | 0,94 | |
| - Kohle: | 0,62 | |
| Dezentrale Warmwasserbereitung: | | |
| - Gas-Durchlauferhitzer: | | 0,56 |
| - Gas-Speicherwassererwärmer: | | 0,44 |
| - Elektro-Durchlauferhitzer: | | 0,89 |
| - Elektro-Speicherwassererwärmer: | | 0,53 |

Als Durchschnittsnutzungsgrad aller Wärmeerzeuger in den Privaten Haushalten der alten Bundesländer ergibt sich 75 % für die Raumheizung und 45 % für die Warmwasserbereitung, wobei die angegebenen Nutzungsgrade keine Wärmeerzeugernutzungsgrade sind, sondern sich auf das **Gesamtsystem einschließlich der Verteilungsverluste** beziehen. Sie berechnen sich aus dem Quotienten von Nutzwärme und Endenergiebedarf.

Die Detaildaten der Wärmeerzeuger können der ORACLE-Datenbank entnommen werden. Weitere Information findet sich auch in den Berichten TP 5-25, TP 5-26 und TP 5-27.

4.1.3. Hochrechnung des Endenergiebedarfs

Für jedes Typgebäude wird der Endenergiebedarf berechnet. Beispielhaft ist der Berechnungsgang an einem Gebäude erläutert.

| Typgebäude (EFHWA) | Spezifischer Heizwärmebedarf: 269,3 [kWh/m²a] | | | | | | | |
|-----------------------|---|------------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | Anteil [%] | Q_{Nutz} [TWh/a] | η_{HZO} [%] | $Q_{\text{End, HZO}}$ [TWh/a] | η_{WWB} [%] | $Q_{\text{End, WWB}}$ [TWh/a] | CO ₂ [1.000 t] | Q_{tief} [GWh/a] |
| Wärmepumpe | 0,8 | 0,11 | - | 0,04 | - | 0 | 2 | 3,65 |
| Zentralheizung | | | | | | | | |
| Fernwärme | 0,4 | 0,05 | 82,7 | 0,06 | 39,0 | 0,00 | - | 0,53 |
| Erdgas | 15,7 | 2,15 | 79,1 | 2,72 | 36,5 | 0,17 | 578 | 27,17 |
| Heizöl | 34,3 | 4,69 | 78,1 | 6,00 | 37,6 | 0,50 | 1.755 | 107,94 |
| Strom | 1,0 | 0,14 | 77,8 | 0,18 | 32,8 | 0,02 | - | 4,91 |
| Kohle | 4,6 | 0,63 | 60,5 | 1,04 | 22,9 | 0,09 | 405 | 5,82 |
| Etagenheizung | | | | | | | | |
| Erdgas | 5,0 | 0,68 | 64,9 | 1,05 | 24,1 | 0,08 | 227 | 22,31 |
| Einzelöfen | | | | | | | | |
| Erdgas | 2,8 | 0,31 | 77,7 | 0,39 | - | - | 79 | 0 |
| Heizöl | 9,8 | 1,07 | 63,7 | 1,68 | - | - | 453 | 0 |
| Strom | 9,7 | 1,06 | 94,3 | 1,12 | - | - | - | 16,24 |
| Kohle | 16,0 | 1,75 | 61,6 | 2,85 | - | - | 1025 | 0 |
| Gesamt | 100,0 | 12,63 | | 17,13 | | 0,88 | 4.522 | 188,57 |

Tabelle 4-4: Berechnung des Endenergiebedarfs für Heizung und Warmwasser am Beispiel eines Einfamilienhauses (Baujahr vor 1900)

In der zweiten Spalte ist die Beheizungsstruktur enthalten, d.h. der Flächenanteil der einzelnen Heizungssysteme an der Gesamtwohnfläche des betrachteten Typgebäudes. In der nächsten Spalte wird der Gesamtheizwärmebedarf, der nach der CEN-Norm bestimmt wird, angegeben. Aus dem Quotienten von Gesamtheizwärmebedarf und Nutzungsgrad (Vierte Spalte) errechnet sich schließlich der Endenergiebedarf für Raumwärme (Fünfte Spalte). Der Nutzungsgrad wird aus detaillierten Berechnungen mit 6 mittleren repräsentativen Gebäuden gewonnen, da die Berechnung der Nutzungsgrade mit allen 31 Typgebäuden großen Rechenaufwand ohne allzu großen Gewinn an Genauigkeit bedeutet hätte. Analog wird für die zentrale Warmwasserbereitung vorgegangen.

- Endenergiebedarf Raumheizung

Aus der Summe der Einzelergebnisse ergibt sich der Endenergiebedarf der alten Bundesländer, 1989 für Raumheizung von ca. 445,7 TWh, worin 8 TWh elektrische Hilfsenergie enthalten sind. Nach /Geiger, u.a., 1991/ resultiert aus der Energiebilanz ein klimabereinigter Endenergiebedarf für Raumwärme von ca. 452,3 TWh. Somit weicht die Hochrechnung nur um ca. 1% von der Energiebilanz ab. Tabelle 4-5 gibt einen Überblick über den Endenergiebedarf für Raumwärme:

| Wärmeerzeuger | Ein-/Zweifamilienhäuser in TWh | | | | Mehrfamilienhäuser in TWh | | | |
|-------------------|--------------------------------|-----------|---------|--------|---------------------------|-----------|---------|--------|
| | vor 1968 | 1969-1982 | ab 1983 | zus... | vor 1968 | 1969-1982 | ab 1983 | zus... |
| Wärmepumpe | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 |
| Zentralheizung | | | | | | | | |
| Fernwärme | 1,3 | 0,7 | 0,2 | 2,2 | 8,8 | 3,9 | 0,3 | 13,0 |
| Erdgas | 37,5 | 17,9 | 5,5 | 61,0 | 18,7 | 9,1 | 1,5 | 29,3 |
| Heizöl | 87,6 | 48,3 | 5,3 | 141,2 | 33,9 | 17,2 | 0,7 | 51,8 |
| Strom | 1,8 | 1,3 | 0,4 | 3,6 | 0,8 | 0,4 | 0,1 | 1,3 |
| Kohle | 9,9 | 1,7 | 0,4 | 12,0 | 1,5 | 0,1 | 0,0 | 1,6 |
| Etagenheizung | | | | | | | | |
| Erdgas | 6,4 | 0,6 | 0,3 | 7,3 | 20,4 | 1,5 | 0,2 | 22,1 |
| Einzelöfen | | | | | | | | |
| Erdgas | 2,8 | 0,2 | 0,1 | 3,0 | 7,9 | 0,2 | 0,0 | 8,2 |
| Heizöl | 14,4 | 0,7 | 0,1 | 15,3 | 6,9 | 0,2 | 0,0 | 7,1 |
| Strom | 9,8 | 2,2 | 0,4 | 12,5 | 6,3 | 1,2 | 0,1 | 7,6 |
| Kohle | 24,6 | 1,0 | 0,3 | 25,9 | 10,7 | 0,2 | 0,0 | 10,9 |
| Hilfsenergie zus. | 3,4 | 2,1 | 0,4 | 5,9 | 1,5 | 0,6 | 0,1 | 2,2 |
| zusammen... | 199,9 | 77,1 | 13,4 | 290,5 | 117,4 | 34,7 | 3,1 | 155,2 |

| Wärmeerzeuger | Ein-/Zweifamilienhäuser in % | | | | Mehrfamilienhäuser in % | | | |
|-------------------|------------------------------|-----------|---------|--------|-------------------------|-----------|---------|--------|
| | vor 1968 | 1969-1982 | ab 1983 | zus... | vor 1968 | 1969-1982 | ab 1983 | zus... |
| Wärmepumpe | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Zentralheizung | | | | | | | | |
| Fernwärme | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 3 |
| Erdgas | 8 | 4 | 1 | 14 | 4 | 2 | 0 | 7 |
| Heizöl | 20 | 11 | 1 | 32 | 8 | 4 | 0 | 12 |
| Strom | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kohle | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Etagenheizung | | | | | | | | |
| Erdgas | 1 | 0 | 0 | 2 | 5 | 0 | 0 | 5 |
| Einzelöfen | | | | | | | | |
| Erdgas | 1 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| Heizöl | 3 | 0 | 0 | 3 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| Strom | 2 | 1 | 0 | 3 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| Kohle | 6 | 0 | 0 | 6 | 2 | 0 | 0 | 2 |
| Hilfsenergie zus. | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| zusammen... | 45 | 17 | 3 | 65 | 26 | 8 | 1 | 35 |

Tabelle 4-5: Hochrechnung Endenergiebedarf Raumheizung, alte Bundesländer, 1989 in TWh (oben) und in Prozent bezogen auf den Gesamtbedarf (unten)

Der Gesamtanteil der Ein-/Zweifamilienhäuser (Einfamilien-, Reihen- und Doppelhäuser) am Endenergiebedarf der alten Bundesländer liegt mit ca. 65% höher als der Anteil am Gesamt-nutzenergiebedarf von 64% und dem Wohnflächenanteil von ca. 60% bei diesen Gebäuden. Nach 1984 gebaute Einfamilienhäuser haben trotz 5% Wohnflächenanteil lediglich einen Endenergieanteil von 3%. Auffallend sind die Gebäude mit Baujahr vor 1969, die mit 45% den größten Prozentsatz am Endenergiebedarf haben, obwohl sie nur 37% der Wohnfläche in Anspruch nehmen.

Mehrfamilienhäuser - mit einem Anteil von 40% an der Wohnfläche - tragen nur mit 35% zum Endenergiebedarf und 37% zum Nutzenergiebedarf bei. Dies zeigt das energetisch günstigere Verhalten von Heizungssystemen mit höheren Leistungen und den geringeren Nutzwärmebedarf der Mehrfamilienhäuser auf Grund des günstigeren A/V-Verhältnisses.

21% der gesamten Wohnfläche werden dezentral beheizt und benötigen einen Endenergieeinsatz von 22%.

Bild 4-3 veranschaulicht die angesprochenen Tendenzen.

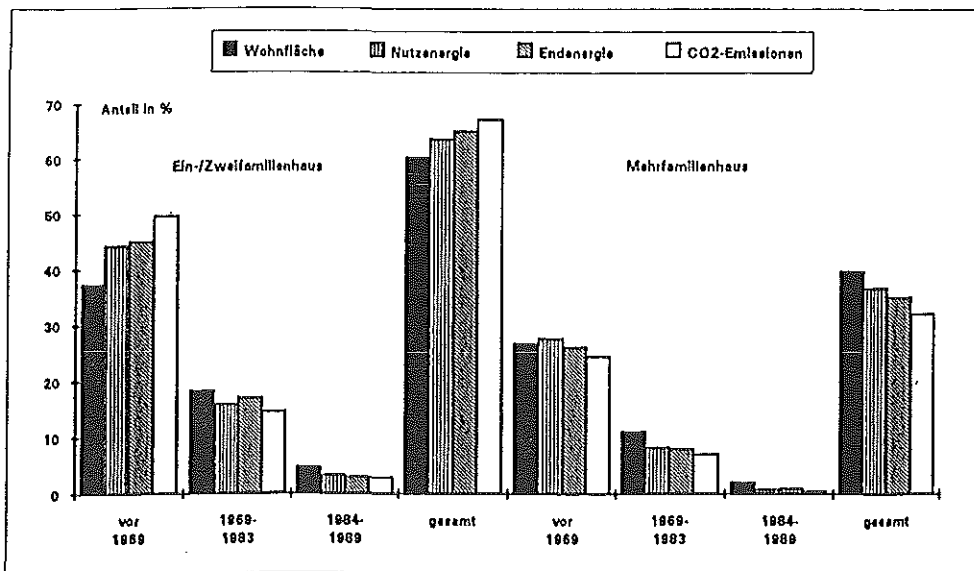


Bild 4-3: Vergleich der Anteile an Wohnfläche, Nutzenergie, Endenergie und lokalen Emissionen bezogen auf den jeweiligen Gesamtwert

- Endenergiebedarf zur Warmwasserbereitung

Ein-/Zweifamilienhäuser benötigen ca. 14 TWh für dezentrale und ca. 30 TWh für zentrale Warmwasserbereitung bzw. 3% bzw. 7% bezogen auf den Gesamtendenergiebedarf (Raumheizung und Warmwasser) von 463 TWh (Alte Bundesländer, 1989). Mehrfamilienhäuser benötigen 10 TWh (2%) und 18 TWh (4%) bei dezentraler und zentraler Wassererwärmung. Der Endenergiebedarf für Warmwasserbereitung hat folglich einen Anteil von 16% am Gesamtwärmebedarf der privaten Haushalte.

4.1.4. Vergleich mit der Energiebilanz

Einen Überblick über die hochgerechneten Ergebnisse gibt **Tabelle 4-6**, wobei die klimabereinigten Ergebnisse auf das Jahr 1989 (Faktor 0.87) zurückgerechnet sind. Zum Vergleich ist in der untersten Zeile der - vorratsbereinigte - Endenergiebedarf des Sektors Haushalte nach /Energiebilanz, 1989/ (Tafel 1.1a) angegeben. Die nach Energieträgern differenzierte Bilanz der AG Energiebilanz ist in der letzten Spalte gezeigt. Diese ist allerdings nicht vorratsbereinigt und hat daher für den Vergleich nur begrenzte Aussagekraft.

Die Spalte *Sonstige* in **Tabelle 4-6** enthält die Werte der Elektro- und Gas-Haushaltsgeräte und ist einer Hochrechnung von /Geiger, u.a., 1993b/ entnommen.

| Energieträger | Endenergiebedarf für das Jahr 1989 in TWh | | | | AG Energiebilanz (nicht vorratsber.) |
|-------------------------------------|---|------------|----------|-------------|---|
| | Raumwärme | Warmwasser | Sonstige | zusammen... | |
| Fernwärme | 13,2 | 2,4 | 0 | 15,6 | 21,4 |
| Erdgas | 113,9 | 19,1 | 3,8 | 136,8 | 159,4 |
| Heizöl | 187,3 | 28,4 | 0 | 215,7 | 186,1 |
| Strom | 22,5 | 19,7 | 73,8 | 116,0 | 97,8 |
| Feste Brennstoffe | 43,9 | 1,8 | 0 | 45,6 | 26,9 |
| zusammen... | 380,8 | 71,3 | 77,6 | 529,6 | 491,7 |
| Energiebilanz (vorratsbereinigt) | 393,5 | 66,6 | 60,2 | 520,3 | |

Tabelle 4-6: Endenergiebedarf nach Energieträgern, alte Bundesländer, 1989,
(nicht klimabereinigt !!!)

Der Gesamtbedarf an Endenergie stimmt mit der Energiebilanz gut überein und ist lediglich um 1,7% höher. Bei den einzelnen Energieträgern ist die Differenz jedoch deutlich größer. Fernwärme ist um 27% und Erdgas um 14% zu niedrig. Heizöl, Strom und feste Brennstoffe liegen um 16%, 18% bzw. 70% über den Werten der nicht vorratsbereinigten Energiebilanz. Der Unterschied bei Heizöl und festen Brennstoffen ist zum Teil auf die Bevorratung zurückzuführen.

Die große Differenz bei den festen Brennstoffen kommt außerdem daher, daß die Energiebilanz den Energieträger Holz nur insofern mitbewertet, als es sich um marktgängige Ware handelt. Privat gesammeltes Holz und sonstiger Restmüll wird nicht berücksichtigt.

Es ist hier auch in Betracht zu ziehen, daß die zugrundeliegende Beheizungsstruktur aus der Gebäude- und Wohnungszählung 1987 stammt und die Veränderungen der Jahre 1988 und 1989 nur über die Bestandsveränderung eingehen, der Austausch von Heizsystemen aber nicht bewertet wird. Nach /VDI, 1992/ (S. 4 und S. 12) steigen die Anteile von Fernwärme in diesem Zeitabschnitt von 8% auf 12%, Erdgas von 31% auf 33% und Heizöl fällt von 58% auf 55%, bezogen auf den zentral beheizten Wohnungsbestand. Diese Veränderung ist jedoch bei der Hochrechnung nicht einbezogen.

4.1.5. Emissionen vor Ort

Die bei der Hochrechnung errechneten Gesamtemissionen (vor Ort) von Kohlendioxid, Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen sind in Tabelle 4-7 zusammengestellt.

Die Einfamilienhäuser verursachen ca. 68% der CO₂-Emissionen. Allein die Ölzentralheizungen erzeugen 50% der CO₂-, 54% der NO₂- und 37% der SO₂-Emissionen, bei einem Endenergieanteil von 41%. Für den Ausstoß an Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen zeichnen in erster Linie die Kohle-Einzelöfen, mit 69% und 82% des Gesamtaustosses dieser Gase, verantwortlich.

In Bild 4-4 ist ein Vergleich des Anteils am Endenergiebedarf verschiedener Energieträger mit deren Anteil an den Emissionen gezeigt. Die Kohlendioxidemissionen der privaten Haushalte in den alten Bundesländern summieren sich für 1989 auf 114,9 Mio. t CO₂, wobei allerdings nur die Vor-Ort-Emissionen der fossilbefeuerten Wärmeerzeuger berücksichtigt

sind. Die vorgelagerten Emissionen werden bei den Teilprojekten "Umwandlung" und "Primärenergie" erfaßt.

Zu den Stickoxid-Emissionen von Einzelöfen liegen nach Aussage von /FfE, 1993a/ keine Angaben vor. Daher sind diese Emissionen in der folgenden Tabelle mit "k.A." gekennzeichnet.

| Wärmeerzeuger | Alte Bundesländer, 1989 | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------------|---------------|----------------|------------------|------------|------------|------------|------------|
| | CO2 [kt] | NO2 [t] | SO2 [t] | CO [t] | CO2 [%] | NO2 [%] | SO2 [%] | CO [%] |
| <i>Zentralheizung</i> | | | | | | | | |
| Erdgas | 20.225 | 13.441 | 0 | 5.887 | 18 | 16 | 0 | 0 |
| Heizöl | 59.943 | 45.078 | 75.485 | 8.882 | 52 | 57 | 45 | 0 |
| Kohle | 5.565 | 3.400 | 24.735 | 278.253 | 5 | 4 | 16 | 28 |
| <i>Etagenheizung</i> | | | | | | | | |
| Erdgas | 6.557 | 6.557 | 0 | 4.682 | 5 | 8 | 0 | 0 |
| <i>Einzelöfen</i> | | | | | | | | |
| Erdgas | 3.341 | 3.906 | 0 | 2.642 | 3 | 4 | 0 | 0 |
| Heizöl | 6.033 | 0 | 7.597 | 40.219 | 5 | 0 | 4 | 4 |
| Kohle | 13.242 | 6.622 | 58.852 | 662.071 | 11 | 8 | 35 | 66 |
| zusammen ... | 114.906 | 79.001 | 166.667 | 1.001.229 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Tabelle 4-7: Hochrechnung der Vor-Ort-Emissionen, alte Bundesländer, 1989,
Emissionen bei Umwandlung und Exploration nicht enthalten !

Ansatzpunkte für eine Reduzierung der CO₂-Emissionen liegen in der Verlagerung der Energieträger von Heizöl zu Erdgas sowie im forcierten Austausch alter Anlagen durch neue Anlagen mit einem besseren Nutzungsgrad.

Zwar sind die brennstoffspezifischen CO₂-Emissionen nach /FfE, 1993a/ bei Ölzentralheizungen neuester Technik genauso groß wie bei alten Anlagen, da der CO₂-Ausstoß, unabhängig von der verwendeten Technik, vom Kohlenstoffgehalt des Brennstoffs bestimmt wird. Es zeigt sich aber z.B. beim Vergleich eines alten Spezialkessels mit einem modernen Niederdruckkessel ein um 12,5% verminderter Energiebedarf und damit auch eine entsprechend große CO₂-Einsparung (bei einer angenommenen Auslastung von 20%).

Ersetzt man den Öl-Spezialkessel durch einen Gas-Niedertemperaturkessel (Stand der Technik), so reduziert sich der Energieeinsatz um 16%, wobei der Gaskessel zusätzlich 26% weniger CO₂ erzeugt.

Faßt man alle Ergebnisse zusammen, so liegt das größte Einsparpotential bei Gebäuden, die vor 1969 gebaut wurden und mit Ölzentralheizungen oder Kohle-Einzelöfen beheizt werden. Hier werden 43% der CO₂-Emissionen und 36% des Bedarfes an Endenergie verursacht.

/Bach, 1993/ errechnet für das Jahr 1987 einen klimabereinigten CO₂-Ausstoß (Faktor 1.08) von ca. 115 Mt für Raumheizung und Warmwasser. Das /Stat. Jahrbuch, 1994/ (S.744) weist einen klimabereinigten CO₂-Ausstoß von ca. 100 Mt für das Jahr 1989 aus. Die NO_x-Emissionen stimmen mit 79 kt exakt mit den hochgerechneten Werten überein, wohingegen die SO₂- und die CO-Emissionen mit ca. 92 kt bzw. ca. 673 kt beträchtlich unter den hochgerechneten Ergebnissen liegen. Weitere Emissionswerte werden hier nicht aufgeführt, da deren Bestimmung mit großen Unsicherheiten verbunden ist. Diese Werte können jedoch in der ORACLE-Datenbank eingesehen werden.

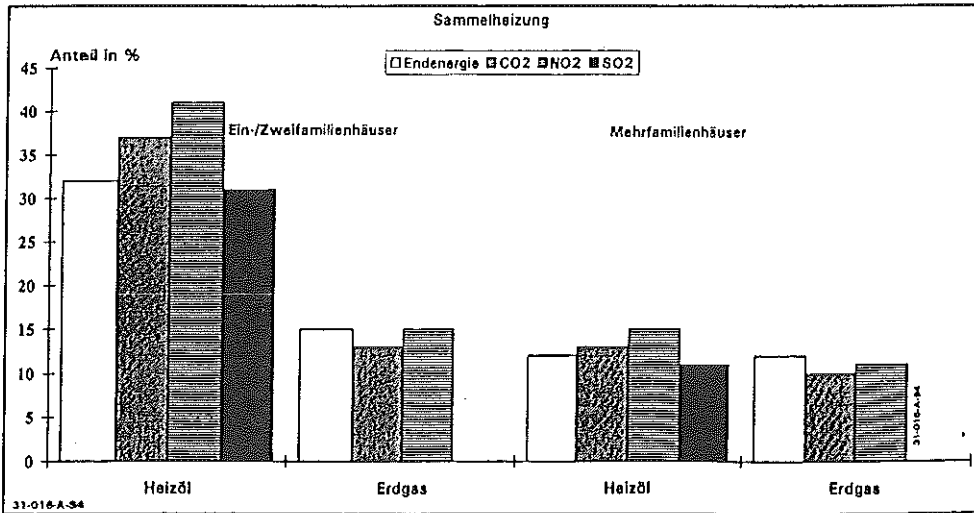


Bild 4-4: Anteile der Energieträger Heizöl und Erdgas (bei Sammelheizungen) an Endenergie und Emissionen bezogen auf die Gesamtwerte (nur Raumheizung)

4.2. Endenergiebedarf und Emissionen für Raumheizung und Warmwasserbereitung, neue Bundesländer, 1989

Eine analoge Vorgehensweise wie für die alten Bundesländer wird auch für die Hochrechnung des Endenergiebedarfs der neuen Bundesländer angewandt.

4.2.1. Beheizungsstruktur

- Raumwärme

Nach /IE, 1991/ sind in der ehemaligen DDR folgende Heizungssysteme zum Einsatz gekommen:

- Fernwärmeversorgung
- Gas-Einzelheizung
- vollversorgt: es wird ausschließlich Gas als Energieträger eingesetzt
- teilversorgt: es wird ein Teil der Räume mit Gas, der verbleibende Teil mit festen Brennstoffen beheizt
- Elektrische Nachtspeicherheizung ebenfalls unterschieden nach Teil- und Vollversorgung
- Wohnungszentralheizung mit festen Brennstoffen (ca. 84 % Braunkohlebrikett, ca. 15 % BHT-Koks)
- Einzelofenheizung mit festen Brennstoffen (100 % Braunkohlebrikett)

In den Bildern 4-5 bis 4-6 ist die Beheizungsstruktur der verschiedenen Baualtersklassen, unterschieden nach Ein-/Zweifamilien- und Mehrfamilienhäusern, dargestellt. Deutlich ist die überwiegende Dominanz der Braunkohleheizung zu erkennen. Bei den Mehrfamilienhäusern wurde die dezentrale Braunkohleheizung in der Nachkriegszeit durch eine Fernwärmeversorgung abgelöst. Aufgrund des großen Anteils älterer Gebäude überwiegt jedoch die Kohleheizung mit ca. 50%. Bei den Einfamilienhäusern sind die Verhältnisse noch extremer. Hier ist die Braunkohle praktisch der einzige Energieträger, wobei die Einzelofenheizung in den nach 1960 gebauten Häusern von der Kohlezentralheizung nahezu vollständig verdrängt wird. Einen Überblick gibt noch einmal Bild 4-7. Bezogen auf die Gesamtwohnfläche der Neuen Bundesländer, 1989 werden ca. 70% der Fläche mit Braunkohle, ca. 23% mit Fernwärme, ca. 5% mit Gas und nur 2% elektrisch beheizt.

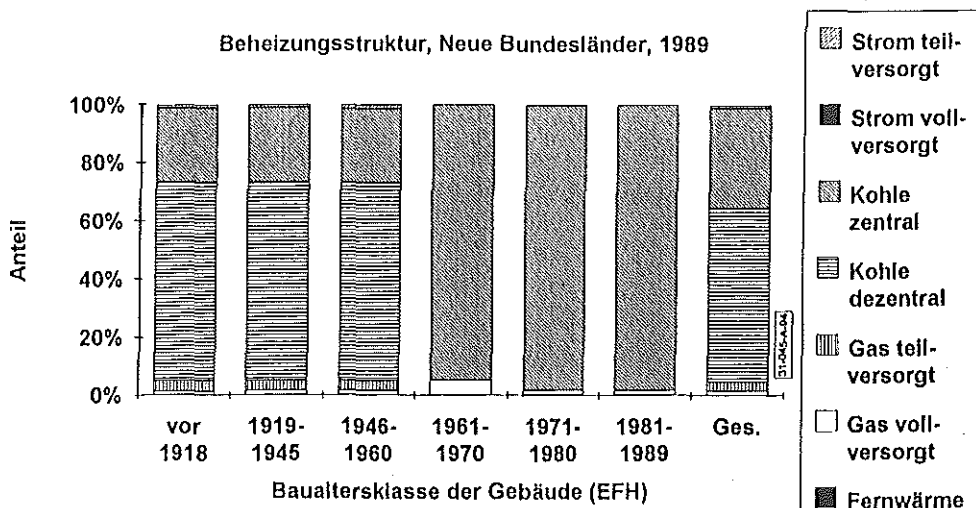


Bild 4-5: Beheizungsstruktur der Ein-/Zweifamilienhäuser nach Baualtersklassen, bezogen auf die Wohnfläche, neue Bundesländer, 1989

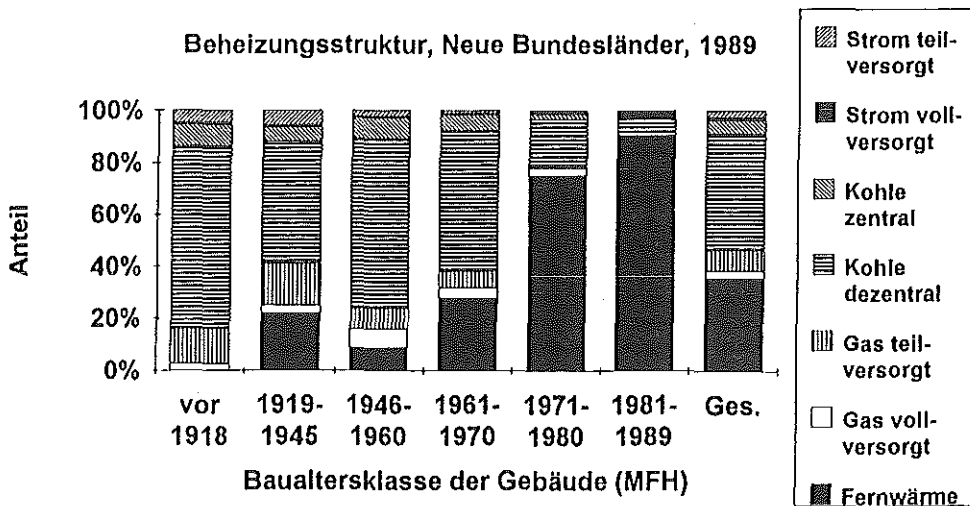


Bild 4-6: Beheizungsstruktur der Mehrfamilienhäuser nach Baualtersklassen, bezogen auf die Wohnfläche, neue Bundesländer, 1989

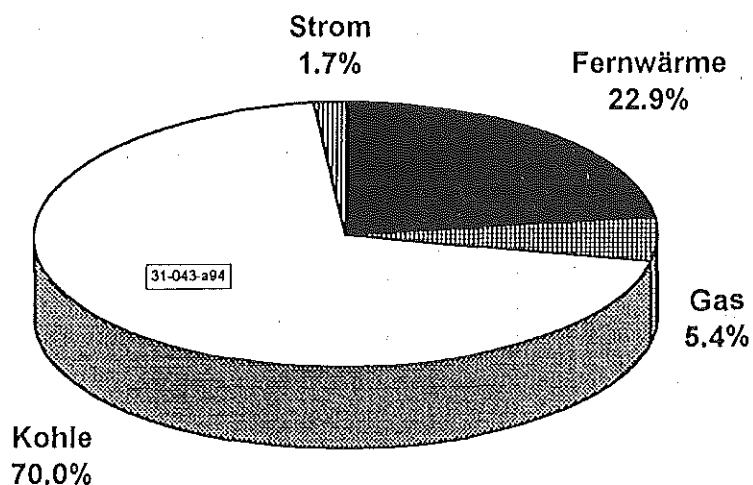
Beheizungsstruktur, Neue Bundesländer, 1989

Bild 4-7: Anteil der Energieträger für Raumheizung bezogen auf die Gesamtwohnfläche, neue Bundesländer, 1989

Die detaillierte Beheizungsstruktur mit den Bestandsdaten und dem spezifischen Heizwärmebedarf für jeden Gebäudetyp sind die Voraussetzungen für die Berechnung des Endenergiebedarfs der neuen Bundesländer, 1989.

- Warmwasserbereitung

Die Struktur der Warmwasserversorgung in den neuen Bundesländern geht aus /IE, 1991/ (Seite 24) hervor:

| Warmwassersystem | Anteil [%] | Wohneinheiten [1000 WE] | Wohnfläche [m ²] |
|----------------------|---------------|----------------------------|---------------------------------|
| Fernwärme | 23 % | 1290 | 82,560 |
| Gasdurchlauferhitzer | 26 % | 1490 | 95,360 |
| Kohleboiler | 29 % | 1620 | 103,680 |
| Elektroboiler | 22 % | 1260 | 80,640 |
| Gesamt | 100 % | 5,660 | 362,240 |

Tabelle 4-8: Anteil der Warmwasserversorgungssysteme, neue Bundesländer, 1989

Dabei wird davon ausgegangen, daß lediglich ca. 82% der Wohnungen mit Bad oder Dusche ausgestattet sind.

4.2.2. Effizienz der Wärmeerzeuger

Zur Bestimmung der Wärmeerzeuger- und Verteilungsnutzungsgrade in den neuen Bundesländern werden ebenfalls aggregierte Ensemblegebäude gebildet und nach dem im Kapitel 3 vorgestellten Verfahren mit den für die neuen Bundesländer relevanten Heizungssystemen verknüpft.

Ein Vergleich mit den zur Hochrechnung herangezogenen Heizungssystemen in den alten Bundesländern zeigt, daß die Gesamtnutzungsgrade (Wärmeerzeuger + Verteilung) in den neuen Bundesländern verursacht durch die schlechtere Verteilung und älteren Geräte geringfügig unter den Gesamtnutzungsgraden in den alten Bundesländern liegen. Eine Gegenüberstellung zeigt die folgende Tabelle - soweit ein äquivalentes System zur Verfügung steht.

Zu beachten ist auch, daß bei den Kohleheizungen in den alten Bundesländern Steinkohle und in neuen Bundesländern Braunkohle Verwendung findet. Allein durch die unterschiedlichen Heizwerte ergeben sich Differenzen bei den Nutzungsgraden.

| | Alte Bundesländer | Neue Bundesländer |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|
| <i>Fernwärme</i> | | |
| - Heizung | 0,85 | 0,85 |
| - Warmwasser | 0,41 | 0,48-0,54 |
| <i>Gas-Einzelofen</i> | | |
| - Heizung | 0,78 | 0,76 |
| - Warmwasser (Durchlauferh.) | 0,56 | 0,53 |
| <i>Elektronachtspeicherofen</i> | | |
| - Heizung | 0,94 | 0,92 |
| - Warmwasser (Speicherwassererw.) | 0,53 | 0,79 |
| <i>Festbrennstoffkessel</i> | 0,63 (Steinkohle) | 0,54 (Braunkohle) |
| <i>Kohle-Einzelofen</i> | 0,62 (") | 0,53 (") |

Schließlich wird der Vollständigkeit halber noch der elektrische Hilfsenergieverbrauch für Heizung und Warmwassererzeugung in den neuen Bundesländern (in [kWh/m²a]) angegeben:

| | Ein-/Zweifamilienhäuser | Mehrfamilienhäuser |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------|
| <i>Fernwärme</i> | 3,09 | 2,05 |
| <i>Gas-Einzelofen</i> | 0,0 | 0,0 |
| <i>Elektronachtspeicherofen</i> | 4,64 | 2,65 |
| <i>Festbrennstoffkessel</i> | 0,85 | 0,08 |
| <i>Kohle-Einzelofen</i> | 0,0 | 0,0 |

4.2.3. Hochrechnung des Endenergiebedarfs

- Endenergiebedarf Raumheizung

Aus der Summe der Einzelergebnisse ergibt sich der Endenergiebedarf der neuen Bundesländer, 1989 für Raumheizung von ca. 118,5 TWh. Nach /IE, 1991/ ergibt sich ein klimabereinigter Endenergiebedarf für Raumwärme von ca. 112,8 TWh. Somit weicht die Hochrechnung nur um ca. 5% von der von /IE, 1991/ erstellten Energiebilanz ab. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, daß bei /IE, 1991/ die Wärmeverteilungsverluste, die ca. 7% des Verbrauchs ausmachen, nicht miteingerechnet sind. Bei deren Berücksichtigung ergibt sich ein Energiebedarf von 120,7 TWh und die Abweichung schrumpft auf knapp 2%. Dies stimmt auch sehr gut mit /Geiger, u.a., 1991/ überein. Dort wird für das Jahr 1988 ein klimabereinigter Endenergiebedarf von 122,4 TWh angegeben. Tabelle 4-9 gibt einen Überblick über den Endenergiebedarf für Raumwärme:

| System | Ein-/Zweifamilienhäuser | | Mehrfamilienhäuser | | Endenergie nach TP 5 [PJ] | Endenergie nach IE [PJ] | Diff. [%] |
|------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------|
| | Endenergie [kWh/m²a] | Wohnfläche [1000 m²] | Endenergie [kWh/m²a] | Wohnfläche [1000 m²] | | | |
| Fernwärme | 308.9 | 42.7 | 163.2 | 93053 | 54.7 | 71.2 | -23.2 |
| Gas, dezentral | 278.1 | 4763 | 157.1 | 17649 | 14.8 | 20.3 | -27.2 |
| Strom, dezentral | 228.7 | 930 | 129.2 | 5988 | 3.6 | 7.2 | -50.7 |
| Braunkohle | | | | | | | |
| Heizung, zentral | 488.4 | 54195 | 259.3 | 13884 | 353.5 | 307.2 | 15.1 |
| Heizung, dez. | 398.6 | 97369 | 223.1 | 131426 | | | |
| Gesamt | | 157300 | | 262000 | 426.5 | 405.9 | 5.1 |

Tabelle 4-9: Endenergiebedarf für Heizung ohne Hilfsenergie, Neue Bundesländer, 1989

Wie aus Tabelle 4-9 zu erkennen ist, ist der Gesamtenergiebedarf gut nachbildbar. Bei der Aufteilung auf einzelne Energieträger treten allerdings deutliche Abweichungen auf. Der zu gering berechnete Bedarf bei den leitungsgebundenen Energieträgern ist vermutlich auf die mangelnde bzw. fehlende Verbrauchskontrolle in der ehemaligen DDR zurückzuführen, die

den tatsächlichen Verbrauch aufgrund höherer Raumtemperaturen und Luftwechselzahlen sowie Wartungsmängeln und Leckagen erhöhen.

- Endenergiebedarf zur Warmwasserbereitung

Bei der Berechnung des Endenergiebedarfs für die Warmwasserbereitung fehlen Angaben über die Zuordnung der Wärmeerzeugersysteme zu Ein-/Zweifamilienhäuser bzw. Mehrfamilienhäusern. Zur Hochrechnung ist daher der mittlere flächenspezifische Endenergiebedarf zur Warmwasserbereitung verwendet worden. Mit lediglich 0.4% ist auch hier die Übereinstimmung mit /IE, 1991/ sehr gut (siehe **Tabelle 4-10**). Der Endenergiebedarf für Warmwasserbereitung hat folglich einen Anteil von ca. 12% am Gesamtwärmebedarf der privaten Haushalte in den neuen Bundesländern.

| System | Ein-/Zweifam. Endenergie [kWh/m²a] | Mehrfamilienh. Endenergie [kWh/m²a] | Wohnfläche [1000 m²] | Endenergie nach TP 5 [PJ] | Endenergie nach IE [PJ] | Diff. [%] |
|-------------------------|--|---|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------|--------------|
| <i>Fernwärme</i> | 50.4 | 51.7 | 79335 | 14.58 | 18.1 | -19.45 |
| <i>Gas, dezentral</i> | 46.3 | 50.9 | 93572 | 16.37 | 14.0 | 16.93 |
| <i>Strom, dezentral</i> | 30.9 | 34.7 | 79128 | 9.34 | 8.2 | 13.90 |
| <i>Braunkohle</i> | 25.8 | 29.9 | 101736 | 10.20 | 10.0 | 2.00 |
| Gesamt | | | 353771 | 50.49 | 50.3 | 0.38 |

Tabelle 4-10: Endenergiebedarf für Warmwasser ohne Hilfsenergie, Neue Bundesländer, 1989

4.2.4. Emissionen vor Ort

Die bei der Hochrechnung errechneten Gesamtemissionen (vor Ort) von Kohlendioxid, Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen sind in **Tabelle 4-11** zusammengestellt.

Die Ein-/Zweifamilienhäuser verursachen ca. 67% der CO₂-Emissionen, wovon der größte Teil (99%) von der Kohleheizung verursacht sind. Nur 33% der CO₂-Emissionen werden von

den Mehrfamilienhäusern verursacht, obwohl diese ca. 2/3 der Wohnfläche stellen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß zum einen der Ein-/Zweifamilienhausbestand in den neuen Bundesländern extrem überaltert ist, zum anderen, daß die Braunkohle praktisch der einzige Energieträger ist, der in Ein-/Zweifamilienhäusern eingesetzt wird. Demgegenüber werden bei den Mehrfamilienhäusern bereits relativ große Anteile Fernwärme verwendet, die bei dieser Betrachtung (Emissionen vor Ort) keine Emissionen aufweisen. Ähnliche Relationen zeigen sich auch bei den übrigen Luftschadstoffen.

Somit ergeben sich insgesamt ca. 39000 kt CO₂, die in den neuen Ländern bei der Heizwärme- und Warmwasserbereitung freigesetzt werden. In den alten Bundesländern entstehen ca. 114000 kt CO₂, d.h. nur die dreifache Menge, obwohl die Gesamtwohnfläche fünfmal so groß ist wie in den neuen Bundesländern. Dramatisch ist das Verhältnis beim Schwefeldioxid. Hier ist der Ausstoß in den neuen Bundesländern sogar etwas größer als in den alten.

/IE, 1991/ ermittelt die CO₂-Emissionen für die neuen Bundesländer (1989) zu ca. 31 Mt. Dieser Unterschied rührt daher, daß im Vergleich der beiden Studien bei TP 5 der Braunkohleanteil am Endenergiebedarf höher berechnet wird (ca. 15%) und außerdem von /FfE, 1993a/ ein um 5 % höherer CO₂-Emissionsfaktor für Braunkohle angegeben wird.

Das /Stat. Jahrbuch, 1994/ S. 745 gibt für die CO₂-Emissionen einen Wert von ca. 37 Mt an.

| System/ Gebäude | CO2 [kt] | NO2 [t] | SO2 [t] | CO [t] | CH4 [t] | NMKW [t] |
|--------------------------------------|-------------|------------|------------|-----------|------------|-------------|
| Ein-/Zweifamilienhäuser (Heizung) | | | | | | |
| Fernwärme | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Erdgas | 265 | 320 | 0 | 170 | 10 | 0 |
| Strom | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kohle | 24805 | 20890 | 117500 | 1057510 | 83560 | 20890 |
| Summe | 25,070 | 21,210 | 117,500 | 1,057,680 | 83,570 | 20,890 |
| Mehrfamilienhäuser (Heizung) | | | | | | |
| Fernwärme | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Erdgas | 554 | 670 | 0 | 360 | 20 | 10 |
| Strom | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kohle | 12510 | 10540 | 59260 | 533340 | 42140 | 10540 |
| Summe | 13,064 | 11,210 | 59,260 | 533,700 | 42,160 | 10,550 |
| Warmwasser | | | | | | |
| Fernwärme | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Erdgas | 952 | 1140 | 0 | 620 | 40 | 10 |
| Strom | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kohle | 1077 | 910 | 510 | 45900 | 3630 | 910 |
| Summe | 2,029 | 2,050 | 510 | 46,520 | 3,670 | 920 |
| Gesamt | 40,163 | 34,470 | 177,270 | 1,637,900 | 129,400 | 32,360 |

Tabelle 4-11: Hochrechnung der Vor-Ort-Emissionen, neue Bundesländer, 1989,
Ein- und Mehrfamilienhäuser (Raumheizung und Warmwasser)

Ansatzpunkte für eine Reduzierung der CO₂-Emissionen liegen in der Verlagerung der Energieträger von Kohle zu Erdgas und anderen Energieträgern sowie im forcierten Austausch alter Anlagen durch neue Anlagen mit einem besseren Nutzungsgrad.

4.3. Haushaltsgeräte

Zahl der Haushalte und Haushaltsgröße, Art und Umfang der Ausstattung mit Haushaltsgeräten und der Einsatz elektrischer Anwendungstechniken sind wichtige Aspekte bei der Stromverbrauchsentwicklung privater Haushalte in den alten und neuen Bundesländern.

Einher mit der Stromverbrauchszunahme der vergangenen 25 Jahre gingen in der BRD und der DDR:

- Zunahme, danach Stagnation bei der Bevölkerung
- Zunahme bei der Zahl der Haushalte
- Zunahme im Gerätebestand bei allen Haushalten
- Abnahme der mittleren Haushaltsgröße.

Die bisherigen Trends werden aufgrund signifikanter bevölkerungsstruktureller Merkmale in den künftigen 20 Jahren eine grundsätzliche Veränderung erfahren:

- Abnahme bei der Bevölkerung und der Zahl der Haushalte
- Zunahme, danach Stagnation und Abnahme im Haushaltsgerätebestand
- Abnahme, danach Stagnation der mittleren Haushaltsgröße.

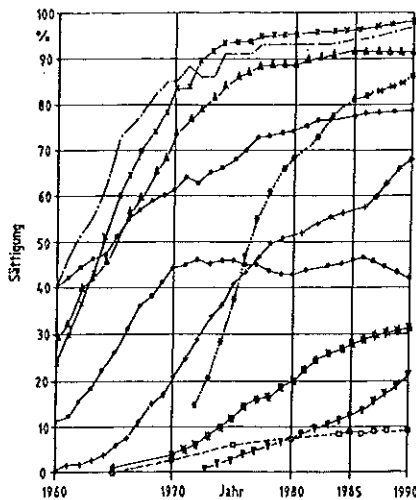
Begleitet wird diese Entwicklung von einer ständig sinkenden Haushaltsgröße, die sich erst Ende dieses Jahrhunderts stabilisieren dürfte. Flächenstaaten weisen dabei im Mittel eine signifikant höhere, Stadtstaaten eine signifikant niedrigere Haushaltsgröße auf.

Interessant dabei ist auch, daß die mittlere Haushaltsgröße in den neuen Bundesländern signifikant über jener der alten Bundesländer liegt. Je nach sozialen Rahmenbedingungen werden sich regional unterschiedliche Entwicklungslinien der Bestandszahlen an Personenhaushalten in den alten und neuen Bundesländern ergeben. Generell gilt dabei:

- ein regionaler Bevölkerungsrückgang in den 80er und 90er Jahren führt nicht zwangsläufig zu einem analogen Rückgang der Zahl der Haushalte.
- je nach regionaler Entwicklungslinie bei der mittleren Haushaltsgröße setzt bei den meisten Flächenstaaten der BRD ein Rückgang der Personenhaushalte erst in den 90er Jahren ein.
- Wanderungsbewegungen und Zuzüge aus dem europäischen Raum werden neue demographische Impulse geben.

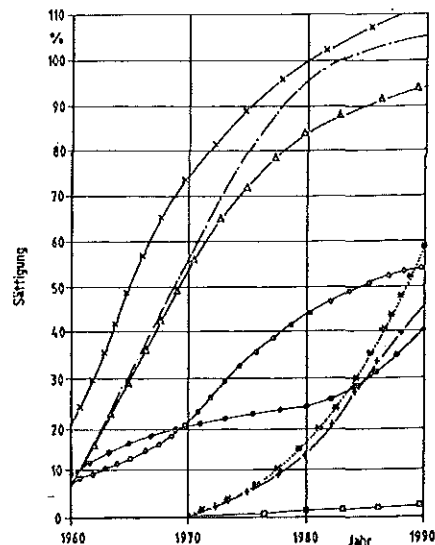
Begleitet wird die im Laufe der Zeit geänderte und sich weiter verändernde Sozialstruktur der Haushalte von einer zunehmenden und dabei verbesserten Ausstattung mit Gütern und Anlagen. Dabei sind Bestandsveränderungen bei stromverbrauchsrelevanten Haushaltsgeräten von besonderem Interesse. Bei der Stromanwendung in Haushalten mit entsprechendem Gerät sind von Bedeutung:

- Beheizen (Speicher- und Direktheizung, Wärmepumpen)
- Erwärmen (Backofen, Koch- und Mikrowellenherd)
- Reinigen und Trocknen (Heißwasserbereiter, Wasch- und Spülmaschine, Wäschetrockner)
- Kühlen und Lagern (Kühlschrank und -truhe, Gefrierschrank und -truhe)
- Beleuchtungseinrichtungen
- Informationsmittel (Fernsehen, Radio, EDV)
- Kleingeräte und Hilfsanlagen (Küchengeräte, Pumpen und Lüfter)



x—x—x Fernsehgeräte
 — Kühlschränke
 ▲ Waschmaschinen
 ● Farb-Fernseher
 ○ Herde
 +—+—+ Gefriergeräte
 ● Heißwasserbereiter
 ▼ Geschirrspülmaschinen
 ▽ Wäschetrockner
 □ Speicherheizanlage

Quelle: NEA - Statistik



x—x—x Fernsehgeräte
 — Kühlschränke
 ▲ Waschmaschinen
 ● Herde
 +—+ Gefriergeräte
 ● Heißwasserbereiter
 □ Speicherheizanlagen
 ● Farb-Fernseher

Quelle: NEA/ML
DNW/IT

Bild 4-8: Sättigung der Haushalte mit Elektrogeräten in der BRD

Bild 4-9: Sättigung der Haushalte mit Elektrogeräten in der DDR

Der Bestand an vorgenannten Geräten und Anlagen hat sich in den vergangenen 30 Jahren kontinuierlich erhöht, wie **Bild 4-8** für die BRD zeigt. Es verdeutlicht aber auch, daß eine Vielzahl von Geräten im Bereich der Sättigung liegen. Lediglich Spülmaschinen und Trockner sowie Zweitgeräte beim Kühlen und Gefrieren weisen noch signifikanten Zuwachs auf. Eine zum Teil analoge, teilweise auch abweichende Entwicklung ist beim Hausgerätebestand der DDR-Haushalte festzustellen.

Bild 4-9 bietet hierzu eine vergleichende Übersicht und erste Ansatzpunkte für noch offene Anwenderpotentiale.

Neben stromverbrauchsrelevanten Geräten und Stromanwendungen im Haushalt finden sich auch eine Vielzahl von Kleingeräten und Anlagen mit Hilfsenergiebedarf, die in der Regel unter der Rubrik 'Sonstige Stromverbraucher' geführt werden.

- Verbraucherverhalten und Nutzergewohnheiten

Mit Auswahl und Kauf eines Gerätes wird auch eine Entscheidung für den künftigen Stromverbrauch dieses Geräts und seinem Anteil am Haushaltsstromverbrauch getroffen. Nicht immer, und dies zu Recht, werden vom Verbraucher Geräte mit dem niedrigsten Stromverbrauch, sogenannte 'marktbeste Geräte' gekauft. Schließlich ergeben erst der Einbezug aller Kriterien zur Gebrauchstauglichkeit (Aufstellungssituation, Handhabung, Sicherheit, Leistung, Haltbarkeit, Umweltwirkung /Pichert, 1991/) eine sinnvolle Benotung 'marktbesteres Gerät'.

Geräte- und Programmwahl, Betriebsweisen, Dauer und Häufigkeit des Geräteeinsatzes werden durch die Verbraucher festgelegt. Sie bestimmen damit maßgeblich den Stromverbrauch von Haushaltsgeräten mit. Anhand einiger Haushaltsgeräte kann gezeigt werden, inwieweit und in welchem Umfang das Verbraucherverhalten und die Nutzergewohnheiten quantifizierbar sind.

Kaufentscheidungen bei der Geräteanschaffung und der Wahl eines bestimmten Gerätetyps mit bestimmten energietechnischen Eigenschaften prägen bereits den künftigen Stromverbrauch; sie können am Beispiel von Kühl- und Gefriergeräten mit **Bild 4-10** und **Bild 4-11** bis zur Gegenwart belegt und unter bestimmten Ansätzen auch in die Zukunft projiziert werden. **Bild 4-10** zeigt, wie bei Neuanschaffungen und Ersatzbeschaffungen die 0-2-Sterne--

Kühlschränke mehr und mehr durch 3-Sterne-Kühlschränke, Anfang der 70er Jahre auch durch 4-Sterne-Kühlschränke zurückgedrängt wurden, während Kühl-Gefrier-Kombinationen seit Ende der 60er Jahre etwa einen konstanten Anteil am Inlandsabsatz von rd. 8 % aufweisen. Nach **Bild 4-15** hat im Zeitbereich von 1960 bis 1980 der Gefrierschrank zunehmende Marktanteile am Inlandsabsatz erreicht. Ab 1980 sind relativ stabile Verhältnisse zu verzeichnen, d.h. Gefriertruhe und Gefrierschrank liegen nun bei etwa konstant bleibenden Marktanteilen - ein Trend, der sich längerfristig fortsetzen dürfte.

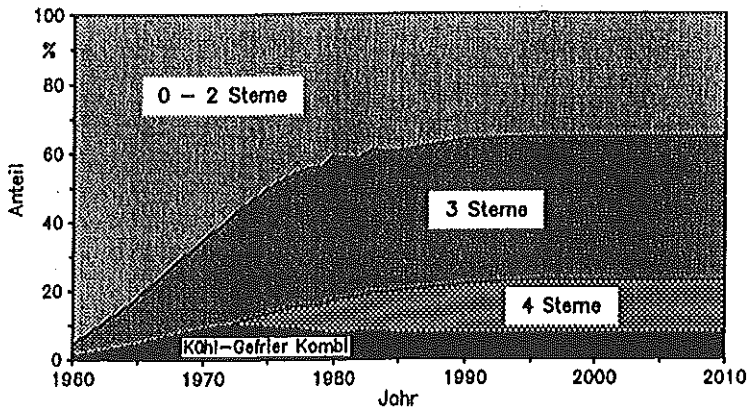


Bild 4-10: Kühlschränke - Anteil der Neugerätetypen am Inlandsabsatz

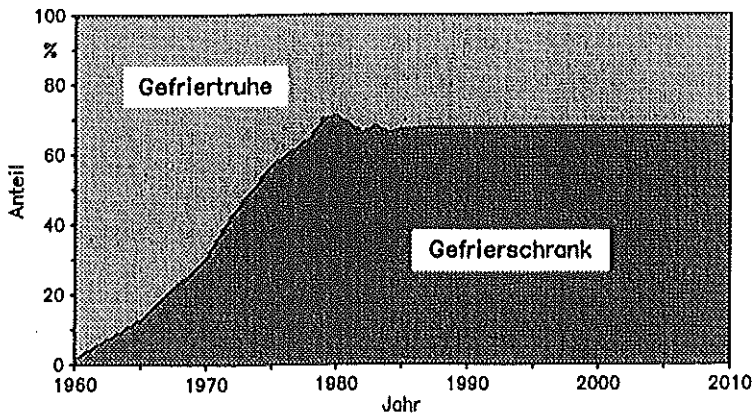


Bild 4-11: Gefriergeräte - Anteil der Truhen und Schränke am Inlandsabsatz

Mit der Programmwahl bei einem Haushaltsgerät verbindet sich zwangsläufig ein entsprechender, programmabhängiger Energieverbrauch. Für Wasch- und Spülmaschinen führen damit die angebotenen und angewählten Programme zu einem entsprechenden Energieverbrauch. Der Einsatz der verschiedenen Waschprogramme wird weitgehend durch die Wäscheart bestimmt, die sich im Laufe der Zeit in typischer Weise verändert hat. So hat nach **Bild 4-12** die Fein-, Bügelfrei- und Buntwäsche ständig an Bedeutung gewonnen, während der prozentuale Anteil der energieintensiven Kochwäsche mehr und mehr abnahm. Bei einer insgesamt seit 1960 um rd. den Faktor 1,8 gestiegenen Wäschemenge - siehe **Bild 4-13** - hat die wenig energieintensive Feinwäsche besonders hohen Zuwachs verzeichnen können, während die Kochwäsche absolut etwa um 15% abnahm.

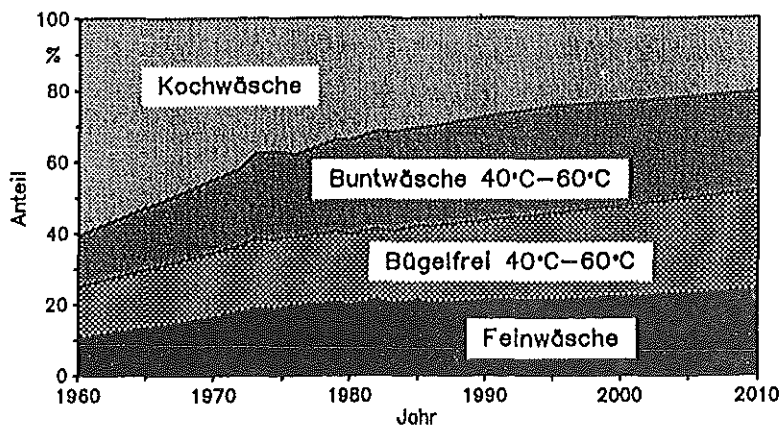


Bild 4-12: Waschmaschinen - Entwicklung der Wäschearten im Haushalt

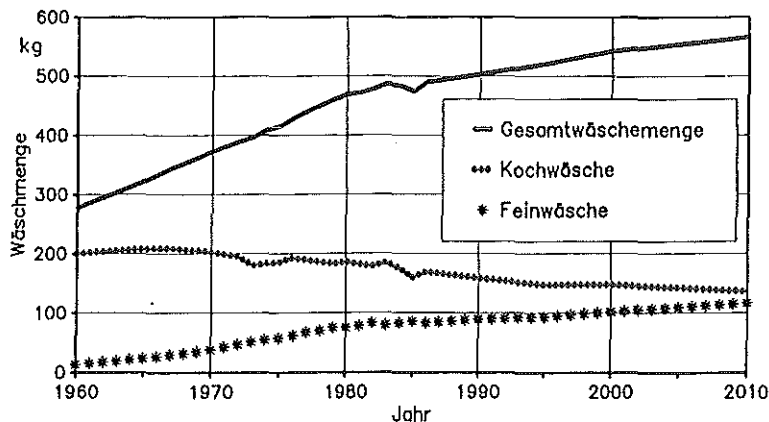


Bild 4-13: Waschmaschinen - Entwicklung der jährlichen Wäschemenge eines Durchschnittshaushalts

Beim Einsatz von Geschirrspülmaschinen haben sich für den Durchschnittshaushalt bei der Zahl der Spülgänge nur relativ geringe Veränderungen seit 1960 ergeben, wobei man davon ausgehen kann, daß der heutige Umfang des Geräteeinsatzes auch in etwa die künftige Einsatzhäufigkeit beschreibt, siehe **Bild 4-14**. Bei den gewählten typischen Programmarten wie Normal- oder Sparprogramm dürften signifikante Änderungen aufgetreten sein. Die Ergebnisse von Befragungen zu gewählten Spülprogrammen sind in **Bild 4-15** dargestellt. Etwa ab Mitte der 60er Jahre wurden die Sparprogramme mehr und mehr eingesetzt und erreichten Mitte der 70er Jahre einen Anteil von rd. 85 %. Mit dem generellen Rückgang des spezifischen Verbrauchs bei Neugeräten und dem bei Sparprogramm-Wahl mitunter auftretenden unbefriedigenden Reinigungseffekt wurden Normal-Programme für die Verbraucher wieder interessanter. Heute werden wieder überwiegend die Normal-Programme eingesetzt, die auch künftig dominieren dürften. Längerfristig kann dann von einem prozentualen Anteil der Normal-Programme von rd. 70 bis 80 % ausgegangen werden.

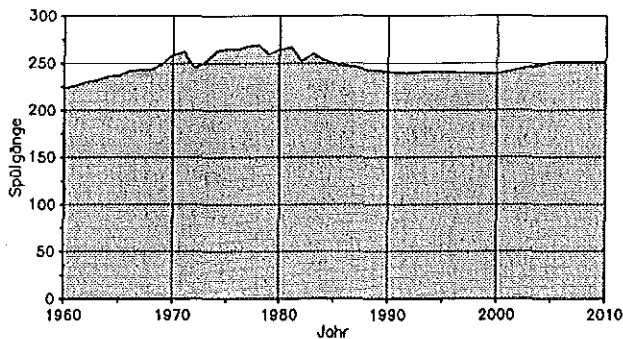


Bild 4-14: Spülmaschinen - Entwicklung der jährlichen Spülgänge eines Durchschnittshaushalts

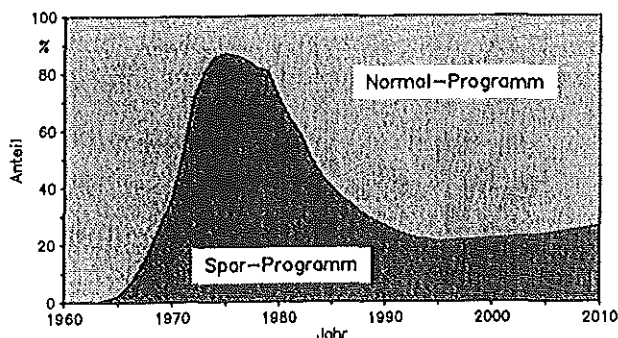


Bild 4-15: Spülmaschinen - Programmwahl der Benutzer

Informationen zur Geräteauslastung und zum Gerätebetrieb stehen in nur wenigen Fällen zur Verfügung, da generelle kontinuierliche und dabei repräsentative Erhebungen hierzu nicht durchgeführt werden. Für Waschmaschinen und die verschiedenen Waschprogramme liegen jedoch Angaben vor, die ein geändertes Verbraucherverhalten im Laufe der Zeit beschreiben. Aus **Bild 4-16** ist ersichtlich, wie seit 1960 die Maschinenauslastung bei Koch- und Buntwäsche um 10 bis 15 % sank und nun im Mittel bei etwa 70 bis 75 % der Nennauslastung liegt. Zu dieser Entwicklung hat sicherlich beigetragen, daß eine Nennauslastung nur bei sehr kompakter Beschickung möglich ist. Im gleichem Zeitraum stieg aber auch die Auslastung bei bügelfreier und Feinwäsche von 1,5 bis 1,6 kg pro Waschgang auf das rd. 1,7-fache an, wobei die empfohlene Auslastung von 1,5 bis 2 kg deutlich überschritten wurde. Als Ursache kann die mitunter generell propagierte hohe Maschinenauslastung angegeben werden, die vom Verbraucher akzeptiert und umgesetzt wurde, im Prinzip aber waschtechnisch gar nicht gewünscht ist.

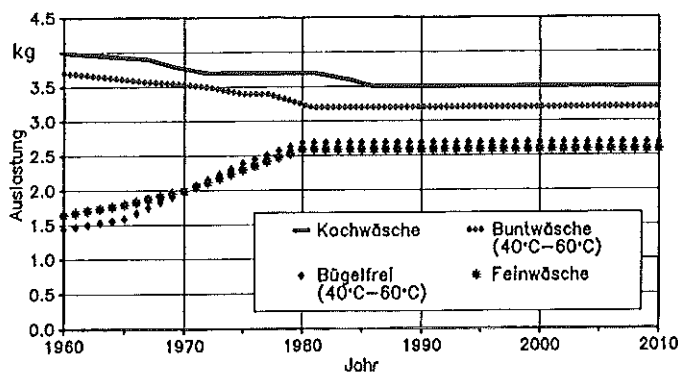


Bild 4-16: Waschmaschinen - mittlere Auslastung pro Waschgang

Kaufentscheidungen und Nutzerverhalten prägen den künftigen Beleuchtungsstromverbrauch.

Als generelle Entwicklungslinien gelten dabei:

- Trend zu besserer und individueller Ausleuchtung von Räumen
- Trend zu Leuchtstoff- und Niedervoltlampensystemen
- Trend zu höherem installierten Lichtstrom pro m² Wohnfläche
- Trend zu fallender Ausnutzungsdauer (bezogen auf den installierten Lichtstrom) im Wohn-, Küchen- und Naßbereich und ansteigende Ausnutzungsdauer bei sonstigen Räumen und im Schlafbereich

Als Folgeeffekte vorgenannter Zeittrends ergeben nach **Bild 4-17** sich bei der installierten elektrischen Leistung für Beleuchtungszwecke zunächst nur noch Zuwächse bis Ende der 90er Jahre, danach eine rückläufige Entwicklung. Bei der Ausnutzungsdauer der installierten elektrischen Leistung muß mit einem weiteren Rückgang gerechnet werden. Vorgenannte Zusammenhänge sind in einem Submodell "Beleuchtungsstromverbrauch" /Geiger, u.a., 1993a/ in das Stromverbrauchsmodell "Haushalte" integriert und lassen detaillierte Aussagen zur Lampenausstattung, zur Kaufentscheidung der Haushalte, zum Nutzerverhalten und zum Beleuchtungsstromverbrauch zu.

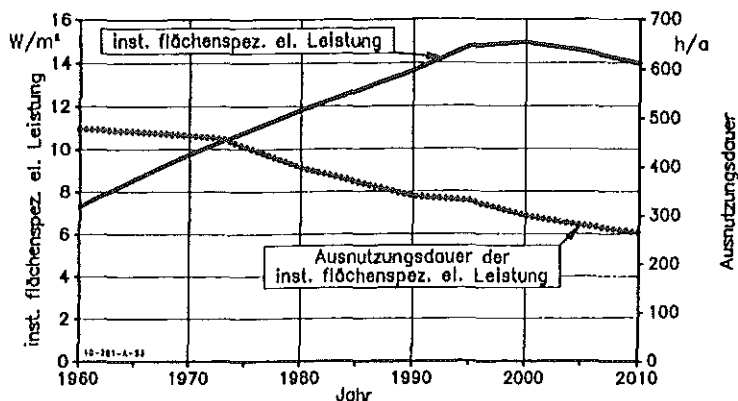


Bild 4-17: Beleuchtung - installierte flächenspezifische elektrische Leistung und deren Ausnutzungsdauer

Mit Umfang und Qualität der Fernsehangebote sowie der Technikausstattung der Fernsehgeräte gehen einher:

- Zunahme der Einschaltdauer, derzeit bei rd. 4,5 Stunden pro Tag liegend,
- Zunahme der stand-by-Betriebszeiten

Bei der Prognose des Stromverbrauchs wird langfristig von etwa 6 stündiger Einschaltdauer und im Mittel bis zu 8 stündigem stand-by Betrieb ausgegangen.

Für den Zeitbereich von 1960 bis 1990 kann für die BRD und die DDR der berechnete Stromverbrauch angegeben werden. Hierzu zeigt **Bild 4-18** die Struktur der verschiedenen Stromanwendungen in BRD und DDR.

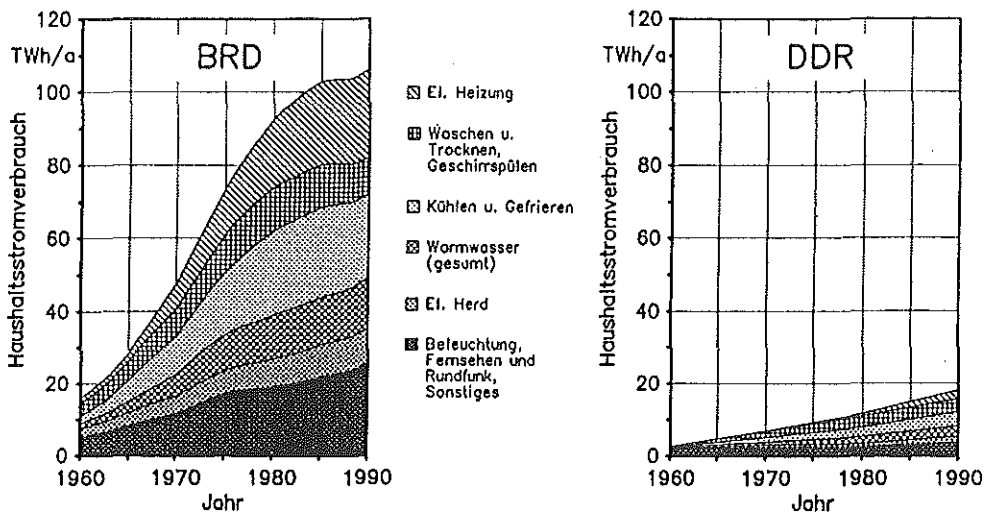


Bild 4-18: Entwicklung des Haushaltsstromverbrauchs in der BRD und der ehemaligen DDR

Nach **Bild 4-18** ergibt sich für die BRD eine vom technischen Fortschritt geprägte Verbrauchsentwicklung. Unübersehbar ist der nach Verlauf und Niveau sich seit Mitte der 80er Jahre abzeichnende Trend zur Verbrauchssättigung, die in der zweiten Hälfte der 80er Jahre auch erreicht wurde. Ähnliches gilt mit einer gewissen zeitlichen Verschiebung auch für die Haushalte der DDR.

Zentrale Ausgangsdaten für das IKARUS- Projekt, die Jahre 1989, 2005 und 2020 betreffend, sind nach Geräte- und Anwendungsarten der Haushalte in Bericht TP 5-20 zusammengestellt. Sie umfassen Informationen zu den Haushalten der 'BRD' (vor der Wende) und zu 'Deutschland' (nach der Wende), zu den verschiedenen Haushaltsgrößen (Ein- bis Fünfpersonenhaushalte und Durchschnittshaushalte), zur Geräteauslastung, Lebensdauer und zu Gerätekosten. Diese Informationen sind ebenfalls in der ORACLE-Datenbank zu finden.

5. Die Entwicklung der energiebedarfsbestimmenden Größen für die Zieljahre 1989, 2005 und 2020

Zur Hochrechnung der Gebäudewohnflächen für die Jahre 2005 und 2020 in den alten Bundesländern muß man den Abgang und Zugang von Wohnflächen, ausgehend von den Daten der Gebäude- und Wohnungszählung 1987 /Kolmetz, u.a., 1992/ (Tabelle B: Wohnflächen in m²) berücksichtigen.

Die prinzipielle Vorgehensweise besteht darin, mit Hilfe des von /Prognos, 1992/ bzw. /Enquête, 1993/ geschätzten Gesamtabgangs und Gesamtzugangs für die Jahre 2005 bzw. 2020 durch prozentuale Aufteilung für jedes Typgebäude den mittleren Abgang bzw. Zugang zu ermitteln. Über die prozentuale Aufteilung der abgehenden Wohnflächen gibt die Abgangsstatistik des Statistischen Bundesamtes für die Jahre 1987 - 1990 Anhaltswerte. Über die Aufteilung des Zugangs macht /IBP, 1992b/ Aussagen. Mit diesen Zahlen können auch die Zu- und Abgänge zwischen 1987 (Volkszählung) und 1989 (IKARUS-Statusjahr) abgeschätzt werden.

Für die neuen Bundesländer wird analog von den Schätzungen von /Prognos, 1992/ für die Jahre 2005 und 2020 ausgegangen. Da über Abriß- und Zubauraten keine statistischen Zahlen vorliegen, wird der geschätzte "Bestand" mit dem gleichen Prozentsatz wie bei den alten Bundesländern auf die Typgebäude aufgeteilt.

5.1. Abgang von Wohnflächen, alte Bundesländer

Angaben über den Wohnflächenabgang enthält die Fachserie 5 des Statistischen Bundesamtes /StBa, 1987-1990/, ("5.3 Abgang von Wohn- und Nichtwohngebäuden nach Gebäudearten und Baualter"). Das Statistische Bundesamt unterscheidet allerdings nur Wohngebäude mit einer Wohnung, zwei Wohnungen und drei oder mehr Wohnungen, sowie nach der Errichtung bis 1918, 1919-1948, 1949-1970 und nach 1970. Da diese Gliederung nicht der Gliederung der Gebäude- und Wohnungszählung bzw. nicht der Gebäudetypologie entspricht, müssen die Daten des Statistischen Bundesamtes in geeigneter Weise auf die detaillierte Untergliederung aufgeschlüsselt werden: die vor 1918 gebauten Gebäude werden auf die Baualtersklassen vor 1900 und 1901 - 1918, die 1949-1970 errichteten Gebäude werden entsprechend ihrem Anteil am Gesamtbestand auf die Zeiträume 1949-1957 und 1958-1968 aufgeteilt. Die Abgänge nach 1970 werden der Baualtersgruppe 1969-1978 zugerechnet, da die Abrißtätig-

keit für die Errichtungsjahre nach 1978 einen vernachlässigbar kleinen Anteil darstellt. Das Statistische Bundesamt macht bei Gebäuden ab drei Wohnungen keine genauere Unterscheidung mehr, so daß für diesen Bereich die prozentualen Anteile von Kleinen und Großen Mehrfamilienhäusern sowie Hochhäusern aus den Ergebnissen der Gebäude- und Wohnungszählung zu ermitteln sind und somit eine entsprechende Anpassung an die Gebäudetypologie durchführbar wird.

Die Gebäude mit mehr als 12 Wohneinheiten der Baujahre vor 1958 und nach 1978 werden entsprechend der Einteilung nach /IWU, 1991/ den Großen Mehrfamilienhäusern zugerechnet, da für diese Baualtersklassen von IWU keine Typgebäude beschrieben sind.

In Bericht TP 5-29 sind für die einzelnen Typgebäude die mittleren Anteile am jährlichen Wohnflächengesamtabgang aus den Abgängen der Jahre 1987-1990 errechnet worden. Mit Hilfe dieser Werte und den von /Prognos, 1992/ ermittelten Abgängen (**Tabelle 5-1**), können nun die Wohnflächenbestände der bis 1989 errichteten Gebäude, in den Jahren 2005 und 2020 bestimmt werden.

| | | |
|------------------|-------|--|
| Abgang 1990-1995 | 20,7 | Mio m ² |
| Abgang 1996-2000 | 21,9 | Mio m ² |
| Abgang 2001-2005 | 31,0 | Mio m ² |
| Abgang 2006-2010 | 58,6 | Mio m ² |
| Abgang 2011-2020 | 113,1 | Mio m ² (aus /Enquête, 1993/) |

Tabelle 5-1: Wohnflächenabgang nach Prognos

5.2. Zugang von Wohnflächen (Neubautätigkeit), alte Bundesländer

Angaben zur Neubautätigkeit bis zum Jahr 1995 enthält der Bericht "Stand und Tendenzen der Neubautätigkeit in Deutschland" /IBP, 1992b/ des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik. Weitergehende Prognosen finden sich in /Prognos, 1992/.

Für die Neubauten werden von IBP sieben Typgebäude festgelegt (siehe auch Kap. 3.):

Die Verteilung des gesamten Zugangs an Wohnflächen nach Prognos für 2005 und 2020 auf die einzelnen Typgebäude erfolgt über die Mittelwerte der Jahre 1990 bis 1995 gemäß dem Verteilungsschlüssel von /IBP, 1992b/ unter der Annahme konstant bleibender Wohnungs-

größen. Mit dieser prozentualen Verteilung werden die neugebauten Wohnflächen für die Jahre 2005 und 2020 ermittelt.

| Gebäude | "Mittlere" Wohnfläche pro Geb. [m ²] | Zugang 1987 bis 1989 nach IBP [m ²] | Zugang 1990 bis 1995 nach IBP [m ²] | Mittlerer Anteil am gesamten Zugang [%] |
|-------------|---|--|--|--|
| EFH | 134 | 21.916.772 | 42.686.906 | 31,8 |
| DHH | 116 | 5.482.044 | 10.054.996 | 7,5 |
| RMH | 112 | 7.557.088 | 13.869.520 | 10,3 |
| ZFH | 193 | 10.715.746 | 27.084.076 | 20,2 |
| KMH | 351 | 5.151.276 | 13.991.211 | 10,5 |
| GMH | 648 | 4.391.496 | 12.783.096 | 9,5 |
| HOH | 1461 | 4.689.810 | 13.651.584 | 10,2 |
| zusammen... | | 59.904.232 | 134.121.389 | 100,0 |

Tabelle 5-2: Anteil der Typgebäude Neubau am Wohnflächenzugang

Nach Tabelle 4.1-4 in /Prognos, 1992/ ergeben sich folgende Zugänge an Wohnflächen:

| | |
|------------------|--|
| Zugang 1990-1995 | 193,6 Mio m ² |
| Zugang 1996-2000 | 148,3 Mio m ² |
| Zugang 2001-2005 | 119,7 Mio m ² |
| Zugang 2006-2010 | 97,3 Mio m ² |
| Zugang 2011-2020 | 100,0 Mio m ² (aus /Enquête, 1993/) |

Tabelle 5-3: Wohnflächenzugang nach /Prognos, 1992/ (ohne aktivierte Wohnfläche)

Die aktivierte Wohnfläche ist hier nicht berücksichtigt, da ihr Anteil gering ist und Angaben über den bauphysikalischen Zustand fehlen. Somit ist eine energetische Bewertung nicht möglich. **Tabelle 5-4** zeigt die zugebauten Wohnflächen nach **Tabelle 5-3** aufgeschlüsselt auf

die 7 Typgebäude des IBP entsprechend Tabelle 5-2 für die Stützjahre 2005 und 2020.

| Gebäude | "Mittlere" Wohnfläche pro Gebäude [m ²] | Neubau- Zugang 1989 bis 2005 [1000 m ²] | Neubau- Zugang 1989 bis 2020 [1000 m ²] |
|-------------|---|--|--|
| EFH | 134 | 146.789 | 209.530 |
| DHH | 116 | 34.620 | 49.418 |
| RMH | 112 | 47.545 | 67.867 |
| ZFH | 193 | 93.243 | 133.098 |
| KMH | 351 | 48.468 | 69.185 |
| GMH | 648 | 43.852 | 62.596 |
| HOH | 1461 | 47.083 | 67.208 |
| zusammen... | | 461.600 | 658.902 |

Tabelle 5-4: Wohnflächenzugang der Typgebäude Neubau für die Jahre 2005 und 2020

Einen Überblick über die Wohnflächen in den Prognosejahren gibt die nachfolgende Tabelle 5-5, in der alle Ergebnisse zusammengefasst sind.

Bei der Abrißstätigkeit stehen die Reihen- und Doppelhäuser an erster Stelle. Sie heben sich mit einem Anteil von 38,3% am Gesamtabgang von 1989 bis 2005 für die Errichtungsjahre bis 1948 deutlich von den übrigen Typen ab, die in diesem Bereich nahezu gleichmäßig mit ca. 10% am Abgang beteiligt sind. Gleichzeitig verzeichnen die Reihen- und Doppelhäuser bei der Neubautätigkeit im Zeitraum bis zum Jahr 2005 mit knapp 50% den größten Zuwachs an Wohnfläche. Die Gesamtwohnfläche steigt von 2198 m² im Jahr 1989 auf 2586 m² bzw. 2612 m² in den Jahren 2005 und 2020. Betrachtet man die Wohnflächenhäufigkeit nach Gebäudegröße (Tabelle 5-6), so ergibt sich für Einfamilienhäuser ein nahezu gleichbleibender Anteil, für Reihen- und Doppelhäuser und Hochhäuser eine geringe Zunahme von weniger als 2%. Für Kleine- und Große Mehrfamilienhäuser zeichnet sich eine Abnahme von 2% bzw. 1% ab. Die Bestandsdaten für 1989 stammen aus /Gülec, u.a., 1993/ (S. 22).

| Gebäude | Baualter | Wohnfläche 1989 [Mio m²] | Anteil am Gesamt-- abgang -zugang bis 2005 [%] | Wohnfläche 2005 [Mio m²] | Wohnfläche 2020 [Mio m²] |
|--------------------|-----------|--------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|
| EFHWA | bis 1900 | 50,8 | 7,0 | 45,7 | 33,6 |
| EFHWB | 1901-1918 | 30,8 | 4,2 | 27,7 | 20,5 |
| EFHWC | 1919-1948 | 60,2 | 5,2 | 56,4 | 47,5 |
| EFHWD | 1949-1957 | 59,7 | 1,1 | 58,9 | 57,0 |
| EFHWE | 1958-1968 | 94,3 | 1,7 | 93,0 | 90,1 |
| EFHWF | 1969-1978 | 75,4 | 0,4 | 75,1 | 74,4 |
| EFHWG | 1979-1983 | 35,5 | 0,0 | 35,5 | 35,5 |
| EFHWH | 1984-1989 | 27,1 | 0,0 | 27,1 | 27,1 |
| EFHWI | ab 1990 | 0 | 20,2 | 93,2 | 133,1 |
| zusammen... | | 433,8 | 19,6 | 512,6 | 518,8 |
| RDHWA | bis 1918 | 150,0 | 25,0 | 131,6 | 88,7 |
| RDHWC | 1919-1948 | 105,2 | 13,3 | 95,4 | 72,6 |
| RDHWD | 1949-1957 | 92,1 | 2,5 | 90,3 | 86,0 |
| RDHWE | 1958-1968 | 177,4 | 4,9 | 173,8 | 165,4 |
| RDHWF | 1969-1978 | 199,3 | 0,9 | 198,6 | 197,1 |
| RDHWG | 1979-1983 | 92,5 | 0,0 | 92,5 | 92,5 |
| RDHWH | 1984-1989 | 77,2 | 0,0 | 77,2 | 77,2 |
| RDHWI | ab 1990 | 0 | 49,6 | 228,9 | 326,8 |
| zusammen... | | 893,7 | 46,6 | 1088,3 | 1106,3 |
| KMHWB | bis 1900 | 41,4 | 5,4 | 37,4 | 28,2 |
| KMHWC | 1901-1918 | 42,1 | 5,5 | 38,1 | 28,6 |
| KMHWC | 1919-1948 | 55,5 | 4,4 | 52,3 | 44,7 |
| KMHWD | 1949-1957 | 63,5 | 1,2 | 62,6 | 60,6 |
| KMHWE | 1958-1968 | 103,0 | 1,9 | 101,6 | 98,3 |
| KMHWF | 1969-1978 | 68,2 | 0,4 | 67,9 | 67,2 |
| KMHWG | 1979-1983 | 20,7 | 0,0 | 20,7 | 20,7 |
| KMHWH | 1984-1989 | 16,8 | 0,0 | 16,8 | 16,8 |
| KMHWI | ab 1990 | 0 | 10,3 | 48,5 | 69,2 |
| zusammen... | | 411,2 | 18,8 | 445,9 | 434,3 |
| GMHWA | bis 1918 | 64,1 | 8,4 | 57,9 | 43,5 |
| GMHWC | 1919-1948 | 32,7 | 2,6 | 30,8 | 26,3 |
| GMHWD | 1949-1957 | 66,2 | 1,2 | 65,3 | 63,3 |
| GMHWE | 1958-1968 | 73,7 | 1,4 | 72,7 | 70,3 |
| GMHWF | 1969-1978 | 53,4 | 0,3 | 53,2 | 52,7 |
| GMHWG | 1979-1983 | 30,0 | 0,0 | 30,0 | 30,0 |
| GMHWH | 1984-1989 | 26,8 | 0,0 | 26,8 | 26,8 |
| GMHWI | ab 1990 | 0 | 9,50 | 43,9 | 62,6 |
| zusammen... | | 346,9 | 13,9 | 380,6 | 375,5 |
| HOHWE | 1958-1968 | 42,4 | 0,8 | 41,8 | 40,4 |
| HOHWF | 1969-1978 | 70,1 | 0,4 | 69,8 | 69,1 |
| HOHWI | ab 1990 | 0 | 10,2 | 47,1 | 67,2 |
| zusammen... | | 112,5 | 1,2 | 158,7 | 176,7 |
| Gesamt | | 2.198,1 | | 2.586,1 | 2.611,6 |

Tabelle 5-5: Wohnflächen der Typgebäude, alte Bundesländer, 1989, 2005, 2020

| Gebäude | Anteil 1989 in [%] | Anteil 2005 in [%] | Anteil 2020 in [%] |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Einfamilienhäuser | 19,7 | 19,8 | 19,9 |
| Reihen- und Doppelhäuser ¹ | 40,7 | 42,1 | 42,3 |
| Kleine Mehrfamilienhäuser | 18,7 | 17,3 | 16,6 |
| Große Mehrfamilienhäuser | 15,8 | 14,7 | 14,4 |
| Hochhäuser | 5,1 | 6,1 | 6,8 |
| zusammen... | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

¹ einschließlich Zweifamilienhäuser

Tabelle 5-6: Wohnflächenanteil der Typgebäude an der Gesamtwohnfläche,
alte Bundesländer, 1989, 2005, 2020

5.3. Entwicklung der Wohnflächen in den neuen Bundesländern

Bei der Analyse des Wohnflächenbestandes für das Jahr 1989 ist von Untersuchungen des /IHLGB, 1991/ ausgegangen worden. Die dort genannte Gesamtwohnfläche (419.3 Mio. m²) weicht allerdings erheblich von den von /Prognos, 1992/ genannten Werten (453 Mio. m²) ab. /IE, 1991/ nennt 445.8 Mio. m², /Hauser, 1990/ gibt 439.2 Mio m², /MBau, 1990/ 450.5 Mio m² an. Die großen Streuungen bei der Angabe der Gesamtwohnfläche 1989 in den neuen Bundesländern von ca. 7.5% rührt daher, daß Wohnflächen, die aufgrund von Bau-schäden nicht bewohnbar sind, nicht berücksichtigt werden dürfen, obwohl sie in den offiziellen Statistiken erscheinen. /MBau, 1990/ stuft 3% der Ein-/Zweifamilienhäuser und 11% der vor 1960 erbauten Mehrfamilienhäuser in die Baualtersstufe IV (für Wohnzwecke unbrauchbar) ein. Weitere 17% der Ein-/Zweifamilienhäuser bzw. 40% der vor 1960 erbauten Mehrfamilienhäuser werden der Baualtersstufe III (schwerwiegende Schäden) zugeordnet. Aus diesen Zahlen wird deutlich, daß eher die niedrigeren Bestandszahlen als Ausgangsbasis für eine Hochrechnung zu wählen sind.

Um dennoch - was die zukünftige Entwicklung betrifft - mit /Prognos, 1992/ kompatibel zu sein, wird angenommen, daß durch entsprechend stärkeren Zubau im Jahre 2005 die Prognos-"Bestands"-zahlen erreicht werden. Der Zuwachs bis zum Jahre 2020 kann dann von Prognos übernommen werden. Bei beiden Stichjahren wird allerdings die aus dem Bestand aktivierte Wohnfläche vernachlässigt, da eine wärmetechnische Bewertung nicht vorgenommen werden kann.

Die aus vorgenannten Überlegungen entstandenen Wohnflächenentwicklung für die neuen Bundesländer wird in Tabelle 5-7 dargestellt.

| Typ Baujahr | Wohnfläche 1989 | Anteil am Gesamt- abgang zugang bis 2005 | | Wohnfläche 2005 | Wohnfläche 2020 |
|-------------------|--------------------|--|------|--------------------|--------------------|
| | [Mio m²] | [%] | [%] | [Mio m²] | [Mio m²] |
| EFHOA bis 1918 | 72,2 | 33,4 | | 56,3 | 35,8 |
| EFHOB 1918 - 1945 | 41,8 | 12,2 | | 36,0 | 28,5 |
| EFHOC 1946 - 1970 | 19,5 | 1,3 | | 18,9 | 18,2 |
| EFHOD 1971 - 1985 | 17,0 | 0,2 | | 16,9 | 16,8 |
| EFHOE 1986 - 1990 | 6,8 | 0,0 | | 6,8 | 6,8 |
| Neubau | | | 70,7 | 99,9 | 162,0 |
| zusammen... | 157,30 | 47,1 | 70,7 | 234,8 | 268,1 |
| KMHOA bis 1918' | 7,0 | 2,9 | | 5,6 | 3,7 |
| KMHOB bis 1918' | 46,5 | 20,6 | | 36,7 | 24,2 |
| KMHOC bis 1918' | 33,4 | 14,7 | | 26,4 | 17,4 |
| KMHOD 1919 - 1945 | 42,7 | 11,3 | | 37,3 | 30,4 |
| KMHOE 1946 - 1960 | 17,7 | 1,1 | | 17,2 | 16,5 |
| KMHOF 1961 - 1990 | 37,8 | 1,5 | | 37,1 | 36,3 |
| Neubau | | | 10,6 | 15,0 | 24,4 |
| zusammen... | 185,1 | 52,1 | 10,6 | 175,30 | 152,9 |
| GMHOA 1970 - 1985 | 59,6 | 0,6 | | 59,3 | 58,8 |
| Neubau | | | 9,6 | 13,6 | 22,1 |
| HOHOA 1970 - 1985 | 13,6 | 0,2 | | 13,5 | 0,0 |
| HOHOB 1970 - 1985 | 3,7 | 0,0 | | 3,7 | 0,0 |
| Neubau | | | 9,1 | 12,8 | 23,7 |
| Gesamt | 419,3 | | | 513,0 | 542,5 |

Tabelle 5-7a: Wohnflächen in den neuen Bundesländern, 1989, 2005, 2020

| Gebäude | Anteil 1989 in [%] | Anteil 2005 in [%] | Anteil 2020 in [%] |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Ein-/Zweifamilienhäuser | 37,51 | 43,96 | 49,4 |
| Kleine Mehrfamilienh. | 44,15 | 35,9 | 28,2 |
| Große Mehrfamilienh. | 14,21 | 14,60 | 14,9 |
| Hochhäuser | 4,13 | 5,60 | 7,5 |
| Gesamt | 100,00 | 100,0 | 100,0 |

Tabelle 5-7b: Wohnflächenanteil der Typgebäude an der Gesamtwohnfläche, neue Bundesländern, 1989, 2005, 2020

5.4. Bestimmung der Nachfragevektoren für das LP-Modell

Die in den vorangehenden Kapiteln gemachten Ausführungen haben gezeigt, daß die prinzipielle Vorgehensweise richtig ist und den Heizenergiebedarf der Bundesrepublik Deutschland mit ausreichender Genauigkeit nachbilden kann.

Bei dem von TP 1 entwickelten Optimierungsmodell (LP-Modell) kann aus rechentechnischen Gründen nur eine begrenzte Zahl von Techniken eingesetzt werden. Dies ist dadurch verursacht, daß bei der Optimierungsrechnung eine Matrix berechnet werden muß, die zur Begrenzung der Rechenzeit und zur Erhöhung der Stabilität möglichst wenig Spalten und Reihen besitzen sollte. Die 32 Typgebäude der alten Bundesländer werden daher für das Statusjahr 1989 zu vier flächengewichteten, mittleren Ensemblegebäuden zusammengefaßt:

- Ein-/Zweifamilienhaus Altbau: alle Baualtersklassen der Ein- und Zweifamilienhäuser bis 1984 (EFHWA-EFHWG, RDHWA-RDHWG)
- Ein-/Zweifamilienhaus Neubau: die Typgebäude EFHWH und RDHWH (1984-1989)
- Mehrfamilienhaus Altbau: alle Baualtersklassen der Mehrfamilienhäuser bis 1984 (KMHWA-KMHWG, GMHWA-GMHWG, HOHWA, HOHWF)
- Mehrfamilienhaus Neubau: die Typgebäude KMHWH und GMHWH (1984-1989)

Eine ebenso detaillierte Zuweisung kann für die neuen Bundesländer nicht durchgeführt werden, da keine entsprechende fein aufgeschlüsselte Typologie für die neuen Bundesländer existiert.

Die 14 Typgebäude der neuen Bundesländer werden daher für das Statusjahr 1989 nur zu zwei Ensemblegebäuden zusammengefaßt:

- Ein-/Zweifamilienhaus Altbau: alle Baualtersklassen der Ein- und Zweifamilienhäuser bis 1989
- Mehrfamilienhaus Altbau: alle Baualtersklassen der Mehrfamilienhäuser bis 1989

Für die Stichjahre 2005 und 2020 wird eine einheitliche Zusammenfassung der Ensemblegebäude für die beiden Gebiete durchgeführt:

- Ein-/Zweifamilienhaus Altbau: alle Baualtersklassen der Ein- und Zweifamilienhäuser bis 1989
- Ein-/Zweifamilienhaus Neubau: die Neubautypgebäude EFH, DHH, RMH und ZFH
- Mehrfamilienhaus Altbau: alle Baualtersklassen der Mehrfamilienhäuser bis 1989
- Mehrfamilienhaus Neubau: die Typgebäude KMH, GMH und HOH

Rechnet man die weiter oben hergeleiteten Flächen auf die 4 Ensemblegebäude, die das LP-Modell benötigt, um, so ergibt sich folgende Nachfragematrix für die 3 Statusjahre und die 2 Gebiete:

| Jahr/Gebiet | Ein-/Zweifamilienhaus Altbau [Mio. m ²] | Ein-/Zweifamilienhaus Neubau [Mio. m ²] | Mehrfamilienhaus Altbau [Mio. m ²] | Mehrfamilienhaus Neubau [Mio. m ²] | Summe [Mio. m ²] |
|-------------|---|---|--|--|---------------------------------|
| Alte Länder | | | | | |
| 1989 | 1223,2 | 104,3 | 827,0 | 43,6 | 2.198,1 |
| 2005 | 1278,8 | 322,1 | 845,7 | 139,5 | 2.586,1 |
| 2020 | 1165,2 | 459,9 | 787,5 | 199,0 | 2.611,6 |
| Neue Länder | | | | | |
| 1989 | 157,3 | 0 | 262 | 0 | 419,3 |
| 2005 | 134,9 | 76,2 | 237,5 | 31,6 | 480,2 |
| 2020 | 106,1 | 162 | 204,2 | 70,2 | 542,5 |

Tabelle 5-8: Nachfragevektoren Raumwärme für die Statusjahre 1989, 2005 und 2020

Für den Warmwasserbedarf und den Strombedarf für Haushaltsgeräte ist im wesentlichen die

Personenzahl in der Bundesrepublik die bestimmende Größe. Dieser Demandvektor läßt sich für die alten Bundesländer, 1989 aus einer Sonderauswertung der Volkszählung 1987 /Kolmetz, u.a., 1992/ ermitteln und den einzelnen Ensemblegebäuden zuordnen. Für die übrigen Stichjahre 2005 und 2020 sowie für die neuen Bundesländer sind aus den in Kapitel II.5. berechneten Gesamtwohnflächen und den von /Prognos, 1992/ angegebenen Bevölkerungszahlen Personenbelegungen (m^2 Wohnfläche/Person) gebildet worden. Diese spezifischen Kenngrößen bilden die Grundlage für die Aufteilung der Bevölkerung auf die vier Ensemblegebäude. Das Ergebnis ist in Tabelle 5-9 dargestellt:

| Jahr/Gebiet | Ein-/Zweifami- lienhaus Altbau [Mio. Pers] | Ein-/Zweifami- lienhaus Neubau [Mio. Pers] | Mehrfami- lienhaus Altbau [Mio. Pers] | Mehrfami- lienhaus Neubau [Mio. Pers] | Summe [Mio. Pers] |
|-------------|---|---|--|--|----------------------|
| Alte Länder | | | | | |
| 1989 | 32,9 | 2,8 | 25 | 1,3 | 62,0 |
| 2005 | 31,7 | 8,0 | 21 | 3,5 | 64,2 |
| 2020 | 26,8 | 10,6 | 18,1 | 4,6 | 60,1 |
| Neue Länder | | | | | |
| 1989 | 6,1 | 0,0 | 10,2 | 0 | 16,3 |
| 2005 | 4,4 | 2,5 | 7,7 | 1,0 | 15,6 |
| 2020 | 2,9 | 4,4 | 5,5 | 1,9 | 14,7 |

Tabelle 5-9: Nachfragevektoren Warmwasser und Haushaltsgeräte Statusjahre 1989, 2005 und 2020

6. Energieeffizienz und -substitutionspotentiale

6.1. Einsparpotential durch Maßnahmen an der Gebäudehülle

6.1.1. Beschreibung der Einzelmaßnahmen

Ausgehend vom in Kapitel 4. beschriebenen Ist-Zustand (1989) der Typgebäude werden verschiedene Sanierungsmaßnahmen an den Hüllflächen definiert. Dabei werden aus der Fülle möglicher Maßnahmen wenige gängige ausgewählt. Diese werden in geeigneter Weise zu Maßnahmenpaketen zusammengefaßt. Desweiteren werden exemplarisch zusätzliche, über Dämmmaßnahmen hinausgehende Verbesserungen (Wintergärten, Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung und transparente Wärmedämmung) betrachtet.

Es wird ebenfalls auf die Kosten für die Maßnahmen eingegangen, um eine wirtschaftliche Bewertung durchzuführen.

In /Gruson, 1992/ werden für die Sanierung der Fenster, des Daches, der Außenwand sowie der Kellerdecke unterschiedliche Einzelmaßnahmen vorgestellt. Die Einzelmaßnahmen an Dach, Außenwand und Kellerdecke sind dahingehend zu verstehen, daß zu den bestehenden Schichten der Hüllflächen zusätzliche Dämmschichten aufgetragen werden, d.h. bereits bis zum Statusjahr 1989 durchgeführte Maßnahmen werden - soweit Angaben darüber vorhanden sind - berücksichtigt. Bei den Fenstern hingegen verbessert sich der k-Wert der Verglasung durch Fensterglas- bzw. Fensteraustausch.

Es wird bei den Maßnahmen für jedes Bauteil zwischen zwei bzw. drei Kategorien unterschieden, wobei die Maßnahme mit der höheren Ziffer einen weiter verbesserten Wärmeschutz beinhaltet. Einen Überblick gibt Tabelle 6-1.

Um die Typgebäude auf einen vergleichbaren Standard zu bringen, sind zum Teil unterschiedliche Maßnahmen erforderlich, die jedoch in diesem Bericht die gleiche Bezeichnung tragen. So muß z.B. bei der Umrüstung auf Wärmeschutzverglasung je nach Ausgangszustand das Fenster oder nur das Fensterglas ausgetauscht werden. Beide Maßnahmen werden jedoch mit "Fe2" abgekürzt, da der gleiche Endzustand erreicht wird. Die Kostenunterschiede beider Maßnahmen werden berücksichtigt.

| Fenster | | |
|---|---|-------------|
| Maßnahme | | Bezeichnung |
| Fenster austausch mit Blendrahmendraufdopplung, Kunststoff | Isolierverglasung ($k = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$) | Fe1 |
| | Wärmeschutzverglasung ($k = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$) | Fe2 |
| | Superglazing ($k = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$) | Fe3 |
| Fenster glasaustausch Isolierverglasung gegen Wärmeschutzverglasung ($k = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$) | | Fe2 |
| Dach | | |
| Maßnahme | Dämmschichtdicke [mm] | Bezeichnung |
| Dachbodenfläche mit Dämmplatte belegen, begehbar | 60 | Da1 |
| | 120 | Da2 |
| Steildach, Aufsparrendämmung, neue Betonsteindachdeckung | 80 | Da1 |
| | 140 | Da2 |
| Flachdach-Warmdach, Wärmedämmung verstärken mit neuer Feuchtigkeitsabdichtung | 80 | Da1 |
| | 120 | Da2 |
| Außenwand | | |
| Maßnahme | Dämmschichtdicke [mm] | Bezeichnung |
| Innendämmung Außenwand mit Dampfsperre und Gipskartonverkleidung | 40 | Aw1 |
| | 80 | Aw2 |
| Wärmedämmverbundsystem mit Polystyrol-Dämmplatten | 80 | Aw1 |
| | 120 | Aw2 |
| Wärmedämmverbundsystem mit Mineralfaser-Dämmplatten | 80 | Aw1 |
| | 120 | Aw2 |
| Kellerdecke | | |
| Maßnahme | Dämmschichtdicke [mm] | Bezeichnung |
| Kellerdecke, Wärmedämmung auf Deckenunterseite ohne zusätzliche Bekleidung | 40 | Kd1 |
| | 80 | Kd2 |

Tabelle 6-1: Übersicht über die ausgewählten Einzelmaßnahmen an der Hüllfläche

Zusätzlich werden in /Gruson, 1992/ für jede der dort vorgestellten Maßnahmen Kosten errechnet¹. Dabei wird nach Gesamtinvestitionen, Sowiesoinvestitionen und Bauherreneigenleistung differenziert. Die Gesamtinvestitionen umfassen die gesamten Kosten, die entstehen, wenn an einem Gebäude die jeweilige Maßnahme durchgeführt wird. Dazu sind neben den Material- und Arbeitskosten auch Baunebenkosten (z.B. Beratung, Bauüberwachung, etc.) berücksichtigt. Die Sowiesoinvestitionen sind diejenigen Investitionen, die anfallen, wenn an einem Gebäude im Rahmen des Renovierungszyklusses bereits Instandhaltungs- oder Erneuerungsarbeiten durchgeführt werden. Die Zusatzinvestition für den erhöhten Wärmeschutz sind die Differenz von Gesamtinvestition und Sowiesoinvestition. Wenn z.B. ein Gebäude bei einer anstehenden Außenputzerneuerung zusätzlich wärmegeklämt wird, müssen die Kosten für das Gerüst nur einmal aufgebracht werden. Diese werden daher zu den Sowiesokosten gerechnet.

Unter Eigenleistungen sind Investitionen zu verstehen, die durch Eigenarbeit des Bauherrn eingespart werden können.

Die Kosten sind für den August 1989 ermittelt und werden ohne Mehrwertsteuer aufgeführt. Für die Kosten eines Bauvorhabens gibt es sehr große regionale Unterschiede; die ermittelten Kosten sind als Durchschnittswerte für die gesamte BRD (alte Bundesländer) aufzufassen.

¹ alle in /Gruson, 1992/ angegebenen Kosten sind auf 1 m² Bauteilfläche normiert; ausgehend von der Fläche der zu sanierenden Fläche können damit die Kosten in [DM] ermittelt werden.

- Fenster

Es werden 4 Fensterstandards gewählt und den Varianten der Typegebäude zugeordnet /Flachglas, 1992; Balkow, 1990; Interpane, 1990/.

Über die Verteilung der Fensterflächen nach Himmelsrichtung kann keine detaillierte Aussage getroffen werden. Soweit vorhanden werden die Angaben der bearbeitenden Institute übernommen, ansonsten wird von Gleichverteilung der Fensterflächen bei Mehrfamilienhäusern und überwiegend Südausrichtung bei Ein- und Zweifamilienhäusern ausgegangen.

Bei der Umrüstung der Fenster auf Wärmeschutzverglasung ($k_F = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$) muß zwischen im Ist-Zustand doppeltverglasten und einfachverglasten Fensterflächen unterschieden werden, da eine Sanierung je nach Ausgangszustand unterschiedlich kostet. Für die einfachverglasten Fensterflächen ist ein Fensteraustausch mit Blendenrahmenaufdoppelung nötig, bei den doppeltverglasten hingegen nur ein Fensterglas austausch, da der Rahmen dieser Fenster bereits für das Gewicht und die Dicke der Wärmeschutzverglasung geeignet ist. Unter der Maßnahme "Fe2" sind demnach je nach Ausgangszustand zwei unterschiedliche Maßnahmen zu verstehen.

Für die Umrüstung der Fenster auf Dreifach-Verglasung mit Gasfüllung (Fe3) ist ein Fensteraustausch mit zusätzlicher Blendenrahmenaufdoppelung nötig.

Für die genannten Maßnahmen werden von /Gruson, 1992/ folgende Kosten angegeben:

| Fenster | | | | | |
|---------|--|--|--|--|-------------------------|
| | Maßnahme | | Gesamt- inv. EFH/MFH [DM/m ²] | Zusatz- inv. EFH/MFH [DM/m ²] | Eigen- leist. [%] |
| Fe1 | Fensteraustausch mit Blendrahmenaufdopplung, Kunststoff | Isolierverglasung ($k = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$) | 503/500 | 0/0 | 0 |
| Fe2 | | Wärmeschutzverglasung ($k = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$) | 585/565 | 82/65 | 0 |
| Fe3 | | Superglazing ($k = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$) | 709/737 | 206/237 | 0 |
| Fe2 | Fensterglas austausch Isolierverglasung gegen Wärmeschutzverglasung ($k = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$) | | 278/248 | 72/65 | 0 |

Tabelle 6-2: Kosten für Fenstersanierung (bezogen auf die Fensterfläche)

Bei Hochhäusern ergeben sich für die Maßnahmen Fe2 niedrigere Gesamtinvestitionen in Höhe von DM 453.- bzw. 206.- und Zusatzinvestitionen von DM 46.- bzw. 56.- pro m² Fensterfläche. Eine vollständige Auflistung der Fensterflächenanteile und der Ausrichtung für die jeweiligen Typgebäude erfolgt in Bericht TP 5-22.

| Beispiel für die Kostenermittlung bei einer Maßnahme am Fenster | | | | | | | |
|---|---------------------|-------------------|----------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Typ- gebäude | | Fläche | Gesamt- Inv. | Sowie- soinv. | Zusatz- inv. | Gesamt- inv. | Zusatz- inv. |
| | | [m ²] | [DM/m ²] | | | [DM] | |
| EFHWA | Fe1 | 6,42 | 503 | 503 | 0 | 3228,22 | 0,00 |
| | Fe2 - Glasaustausch | 6,42 | 585 | 503 | 82 | 3754,49 | 526,27 |
| | Fe2 - Fensteraust. | 22,36 | 278 | 206 | 72 | 6216,65 | 1610,07 |
| | Fe3 | 28,78 | 709 | 503 | 206 | 20405,02 | 5928,68 |

Tabelle 6-3: Kosten für Maßnahmen an Fenstern am Beispiel eines Einfamilienhauses

An dem in **Tabelle 6-3** dargestellten Beispiel sieht man, daß die Umrüstung eines "durchschnittlichen" vor 1900 gebauten Einfamilienhauses (Mischgebäude) auf Zweifachverglasung insgesamt 3228 DM kosten würde. Hierbei müßten lediglich ca. 25 % der Fensterfläche ausgetauscht werden, da - über den gesamten Bestand betrachtet - ca. 3/4 der Fensterfläche bereits doppelverglast sind. Betrachtet man nur die Mehrinvestitionen im Sanierungsfall für den erhöhten Wärmeschutz, so würden keine Zusatzinvestitionen anfallen, da heute kein Gebäude mehr mit Einfachverglasung ausgestattet wird. Will man einen höheren Standard erreichen - z.B. Wärmeschutzverglasung - so muß man zwischen den knapp 25 % einfachverglasten Flächen und den doppelverglasten Flächen unterscheiden. Bei ersteren ist ein entsprechend teurer Fensteraustausch erforderlich, bei letzteren genügt ein Fensterglas austausch.

- Dach, Außenwand, Kellerdecke

Sind im Ist-Zustand bereits Dämmmaßnahmen durchgeführt worden, wird im speziellen Fall abgewogen, ob diese bereits ausreichen, um die nach Ausführung einer Maßnahme gewünschte Dämmqualität zu erlangen. Falls dies zutrifft, werden keine Maßnahmen durchgeführt, andernfalls wird die bereits vorhandene Dämmschicht bei einer Sanierung gegebenenfalls entfernt.

Die im folgenden beispielhaft dargestellten Flächenanteile, k-Werte und Investitionen werden in Bericht TP 5-22 detailliert für jedes Typgebäude dargestellt.

- Dach

Für die Dachsanierung wird von den in **Tabelle 6-4** dargestellten Kosten ausgegangen:

| Dach | | | | | |
|------|---|--------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| | Maßnahme | Dämm- schicht- dicke [m- m] | Ge-samt- inv. EFH/MFH [DM/m²] | Zusatz- inv. EFH/MFH [DM/m²] | Eigen- leist. EFH/MFH [DM/m²] |
| Da1 | Dachbodenfläche mit Dämmplatten belegen, begehbare | 60 | 55/56 | 55/56 | 24/0 |
| Da2 | | 120 | 70/71 | 70/71 | 32/0 |
| Da1 | Steildach, Aufsparrendämmung, neue Betonsteindachdeckung | 80 | 207/217 | 57/54 | 0 |
| Da2 | | 140 | 242/253 | 92/90 | 0 |
| Da1 | Flachdach-Warmdach, Wärmedämmung verstärken mit neuer Feuchtigkeitsabdichtung | 80 | 199/188 | 23/25 | 0 |
| Da2 | | 120 | 209/198 | 33/35 | 0 |

Tabelle 6-4: Kosten für Dachsanierung (bezogen auf die zu sanierende Dachfläche)

Bei den Dächern wird zwischen Flach- und Steildächern unterschieden. Bei Steildächern muß man zusätzlich zwischen ausgebautem und nicht ausgebautem Dachraum differenzieren. Ist der Dachraum nicht ausgebaut, wirkt er als Temperaturpuffer zwischen der warmen Raumluft der darunterliegenden Wohnräume und der kalten Außenluft.

Hier dämmt man die oberste Geschoßdecke des Gebäudes. Es werden exemplarisch 60 mm bzw. 120 mm dicke, begehbare Dämmplatten verlegt. Im ausgebauten Steildach wird am Dachstuhl selbst gedämmt, da hier der Dachbereich genutzt wird ("Steildach, Aufsparrendämmung, neue Betonsteindachdeckung"; 80 mm bzw. 120 mm).

Bei den betrachteten Flachdächern handelt es sich um Warmdächer, hier wird die Wärmedämmung auf dem vorhandenen Dach verstärkt, wobei die Feuchteabdichtung erneuert wird. Die Dämmschichtdicken betragen dabei für die Maßnahme "Da1" 80 mm, für "Da2" 120 mm.

- Außenwand

Für die Außenwandsanierung ist mit den in **Tabelle 6-5** aufgeführten Kosten zu rechnen:

| Außenwand | | | | | |
|-----------|--|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | Maßnahme | Dämm-schicht-dicke [mm] | Gesamt-inv. EFH/MFH [DM/m²] | Zusatz-inv. EFH/MFH [DM/m²] | Eigen-leist. EFH/MFH [DM/m²] |
| AW1 | Innendämmung Außenwand mit Dampfsperre und Gipskartonverkleidung | 40 | 101/118 | 27/35 | 31/33 |
| AW2 | | 80 | 109/124 | 35/41 | 31/33 |
| AW1 | Wärmedämmverbundsystem mit Polystyrol-Dämmplatten | 80 | 148/148 | 49/34 | 0 |
| AW2 | | 120 | 158/159 | 59/45 | 0 |
| AW1 | Wärmedämmverbundsystem mit Mineralfaser-Dämmplatten | 80 | 190 ¹ | 88 ¹ | 0 |
| AW2 | | 120 | 217 ¹ | 115 ¹ | 0 |

¹ Die letzten 2 Maßnahmen gelten nur für Hochhäuser.

Tabelle 6-5: Kosten für Außenwandsanierung (bezogen auf die zu sanierende Außenwandfläche)

Hier wird in der Regel auf der Wandaußenseite ein Wärmeverbundsystem mit Polystyrol-Dämmplatten angebracht. Überschreitet das Gebäude eine Höhe von 22 Metern, so darf der Dämmstoff nicht brennbar sein, stattdessen werden Mineralfaser-Dämmplatten verwendet. Handelt es sich bei der Außenwand um eine denkmalgeschützte Außenfassade, kommt nur eine Innendämmung mit Dampfsperre und Gipskartonverkleidung in Frage.

- Kellerdecke

Tabelle 6-6 gibt die Kosten zur Dämmung der Kellerdecke an:

| Kellerdecke | | | | | |
|-------------|--|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | Maßnahme | Dämm-schicht-dicke [mm] | Gesamt-inv. EFH/MFH [DM/m²] | Zusatz-inv. EFH/MFH [DM/m²] | Eigen-leist. EFH/MFH [DM/m²] |
| Ke1 | Kellerdecke, Wärmedämmung auf Deckenunterseite ohne zusätzliche Bekleidung | 40 | 39/41 | 39/41 | 25/27 |
| Ke2 | | 80 | 51/54 | 51/54 | 26/28 |

Tabelle 6-6: Kosten für Kellerdeckensanierung (bezogen auf die zu sanierende Kellerfläche)

6.1.2. Kombination von Maßnahmen zur Heizwärmeeinsparung

- Überblick

Die im vorhergehenden Kapitel vorgestellten Einzelmaßnahmen können einzeln oder in Kombination durchgeführt werden. Zur Wahrung der Übersichtlichkeit sind wenige plausible Maßnahmenkombinationen herausgegriffen und detailliert untersucht worden. Je nach erreichbarer Einsparung werden diese Kombinationen einem der folgenden Standards zugeordnet, wobei jeder Standard durch mehrere unterschiedliche Maßnahmen angenähert werden kann. Innerhalb eines Standards kann es dabei durchaus Bandbreiten im Einsparpotential geben.

| Bezeichnung | wärmetechnische Klassifizierung |
|-------------|---|
| Standard 1 | Istzustand |
| Standard 2 | 1. Novellierung der Wärmeschutzverordnung (WSchVO), Stand 1982 |
| Standard 3 | 2. Novellierung der WSchVO, voraussichtlich 1995 |
| Standard 4 | Niedrigenergiehaus |

Tabelle 6-7: Klassifizierung der Standards

Bei der Kombination verschiedener Maßnahmen ist darauf geachtet worden, die Maßnahmen in der Reihenfolge ihrer Kosteneffizienz zu verbinden. So würde es z.B. wenig Sinn machen, zunächst die Außenwand mit hohem Aufwand zu dämmen, solange die Fenster nicht erneuert sind. Standard 1 bezeichnet den Ist-Zustand, d.h. den wärmetechnischen Durchschnitt aller Wohngebäude eines Typs Ende 1989.

Standard 2 soll den wärmetechnischen Standard entsprechend den Anforderungen der 1. Novellierung der WSchVO beschreiben. Um diesen Standard zu erreichen, werden zunächst die Einfachverglasungen - soweit bei dem jeweiligen Gebäudetyp noch vorhanden - durch Zweifachverglasungen ersetzt. Als weitere Varianten werden zusätzlich das Dach, die Außenwand und die Kellerdecke gedämmt. Es werden dabei nur die Maßnahmen 1 mit den geringeren Dämmstärken berücksichtigt, da eine dickere und damit teurere Dämmschicht bei Gebäuden mit doppelverglasten Fenstern aufgrund des im Vergleich zu den anderen Hüll-

flächen hohen Wärmeverlustes durch die Fenster in der Regel wirtschaftlich nicht sinnvoll ist.

Im Standard 3 wird vom Fensteraustausch mit Wärmeschutzverglasung ($k_p = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$) ausgegangen. Als weitere Varianten werden zusätzlich die opaken Hüllflächen saniert, wobei auch Maßnahmen 2 mit dickeren Dämmstärken betrachtet werden. Diese Pakete beschreiben den Standard, der mit der zukünftigen Novellierung der WSchVO erreicht werden soll.

Um Niedrigenergiehausstandard zu erreichen, werden im Standard 4 die Maßnahmen 2 an den opaken Hüllflächen und ein Fensteraustausch durch Dreifachverglasung ($k_p = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$) durchgeführt. Da die Dreifachverglasung mit Gasfüllung relativ teuer ist, wird hier vorausgesetzt, daß zumindest das Dach und die Außenwand ebenfalls saniert werden oder bereits saniert wurden.

Tabelle 6-8 zeigt einen Überblick über die untersuchten Varianten für die vier Standards:

| | Standard 1 | Standard 2 | Standard 3 | Standard 4 |
|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Var 0 | Istzustand 1989 | | | |
| Var 1 | - | Fe1 | Fe2 | Fe3 Da2 Aw1 |
| Var 2 | - | Fe1 Da1 | Fe2 Da1 | Fe3 Da2 Aw2 |
| Var 3 | - | Fe1 Da1 Aw1 | Fe2 Da2 | Fe3 Da2 Aw2 Kd1 |
| Var 4 | - | Fe1 Da1 Aw1 Kd1 | Fe2 Da2 Aw1 | Fe3 Da2 Aw2 Kd2 |
| Var 5 | - | - | Fe2 Da2 Aw2 | - |
| Var 6 | - | - | Fe2 Da2 Aw2 Kd1 | - |
| Var 7 | - | - | Fe2 Da2 Aw2 Kd2 | - |

| | | | |
|-----|---|---|---------------------------------------|
| Fe1 | Fensteraustausch mit Isolierverglasung | | ($k_p = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$) |
| Fe2 | " | Wärmeschutzverglasung | ($k_p = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$) |
| Fe3 | " | Superverglasung | ($k_p = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$) |
| Da1 | Altbau: | Dachbodenfläche mit Dämmplatten belegen | 6 cm |
| | Steildach: | Aufsparrendämmung | 8 cm |
| | Flachdach: | Dämmung, neue Feuchtigkeitsabdichtung | 8 cm |
| Da2 | wie Da1, jedoch mit 12 cm/ 14 cm/ 12 cm | | |
| Aw1 | Denkmalgeschützte Fassade: | Innendämmung | 4 cm |
| | Sonstige: | Außendämmung | 8 cm |
| Aw2 | wie Aw1, jedoch mit 8cm/ 12cm | | |
| Kd1 | Wärmedämmung auf Deckenunterseite 4 cm | | |
| Kd2 | Wärmedämmung auf Deckenunterseite 8 cm | | |

Tabelle 6-8: Wärmetechnische Verbesserungsmaßnahmen an der Gebäudehülle

- Kosten der kombinierten Maßnahmen

Um die Kosten für ein Maßnahmenpaket zu ermitteln, werden die Kosten der auszuführenden Einzelmaßnahmen aufaddiert. Dies wird ausführlich in Bericht TP 5-22 dokumentiert. Die Tabellen werden zunächst in die unterschiedlichen Standards und zusätzlich innerhalb eines Standards in Varianten unterteilt. Für jede Variante werden die Gesamtinvestitionen, die Zusatzinvestitionen sowie die Eigenleistung (in % der Gesamtinvestitionen) berechnet. In Tabelle 6-9 wird dies am Beispiel eines Einfamilienhauses gezeigt:

| Ermittlung der Investitionen für kombinierte Maßnahmen | | | | | | |
|--|----------|----------|-----------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------|
| Typgebäude | Standard | Variante | Gesamtinv. [DM/m²] | Zusatzinv. [DM/m²] | Eigenleistung [%] | Heizwärmebedarf [kWh/m²a] |
| EFHWA | 2 | 1 | 21 | 0 | 0 | 262 |
| | | 2 | 121 | 28 | 0 | 211 |
| | | 3 | 193 | 47 | 11,4 | 138 |
| | | 4 | 211 | 65 | 15,9 | 121 |
| | 3 | 1 | 64 | 14 | 0 | 250 |
| | | 2 | 165 | 41 | 0 | 199 |
| | | 3 | 274 | 93 | 0 | 187 |
| | | 4 | 346 | 113 | 6,4 | 114 |
| | | 5 | 376 | 126 | 7,7 | 95 |
| | | 6 | 394 | 144 | 10,3 | 89 |
| | | 7 | 400 | 150 | 10,3 | 87 |
| | 4 | 1 | 413 | 137 | 5,4 | 110 |
| | | 2 | 444 | 151 | 6,6 | 91 |
| | | 3 | 461 | 168 | 8,8 | 85 |
| | | 4 | 468 | 175 | 8,8 | 83 |

Tabelle 6-9: Kostenermittlung für Maßnahmenpakete am Beispiel eines Einfamilienhauses (Kostenangaben bezogen auf die Wohnfläche in m²)

Da die im Anhang aufgeführten Einzeldaten keinen Gesamtüberblick über die volkswirtschaftlichen Auswirkungen von wärmetechnischen Sanierungsmaßnahmen geben können, werden in den folgenden vier Bildern die Ergebnisse zusammengefaßt dargestellt. Bei dieser Darstellung wird nicht mehr vom Einzeltypgebäude ausgegangen, sondern es werden mittlere Ensemblegebäude erstellt. Entsprechend den Anforderungen des IKARUS-Projektes werden folgende vier Ensemblegebäude ausgewählt:

- Ein-/Zweifamilienhaus, Baujahr bis 1983
- Ein-/Zweifamilienhaus, Baujahr 1984-1989
- Mehrfamilienhaus, Baujahr bis 1983
- Mehrfamilienhaus, Baujahr 1984-1989

Durch diese Auswahl ist weiterhin gewährleistet, daß unterschiedliche Ergebnisse von Maßnahmen aufgrund des Gebäudebaujahrs oder der Gebäudegröße tendenziell erkannt werden können.

In den **Bildern 6-1..4** wird oben der spezifische Heizwärmebedarf (pro m² Wohnfläche) und die mögliche Heizwärmeeinsparung durch entsprechende Maßnahmen gezeigt. Darunter sind die zugehörigen Gesamt- und Zusatzinvestitionen pro m² Wohnfläche bzw. pro eingesparter kWh Heizwärme zu sehen.

Zur Interpretation des Kennwertes "erforderliche Investition pro eingesparter kWh" sei folgende Beispielrechnung aufgezeigt: Unter der Annahme eines Zinssatzes von 9% und eines durchschnittlichen Nutzungsgrades der Heizungsanlage von 70% bedeutet eine Investition, für die 1 DM pro eingesparter Nutzwärme aufzuwenden sind, einen Grenzpreis für Heizöl von 1.33 DM je Liter Heizöl, bei dem die Grenze zur Wirtschaftlichkeit erreicht wird.

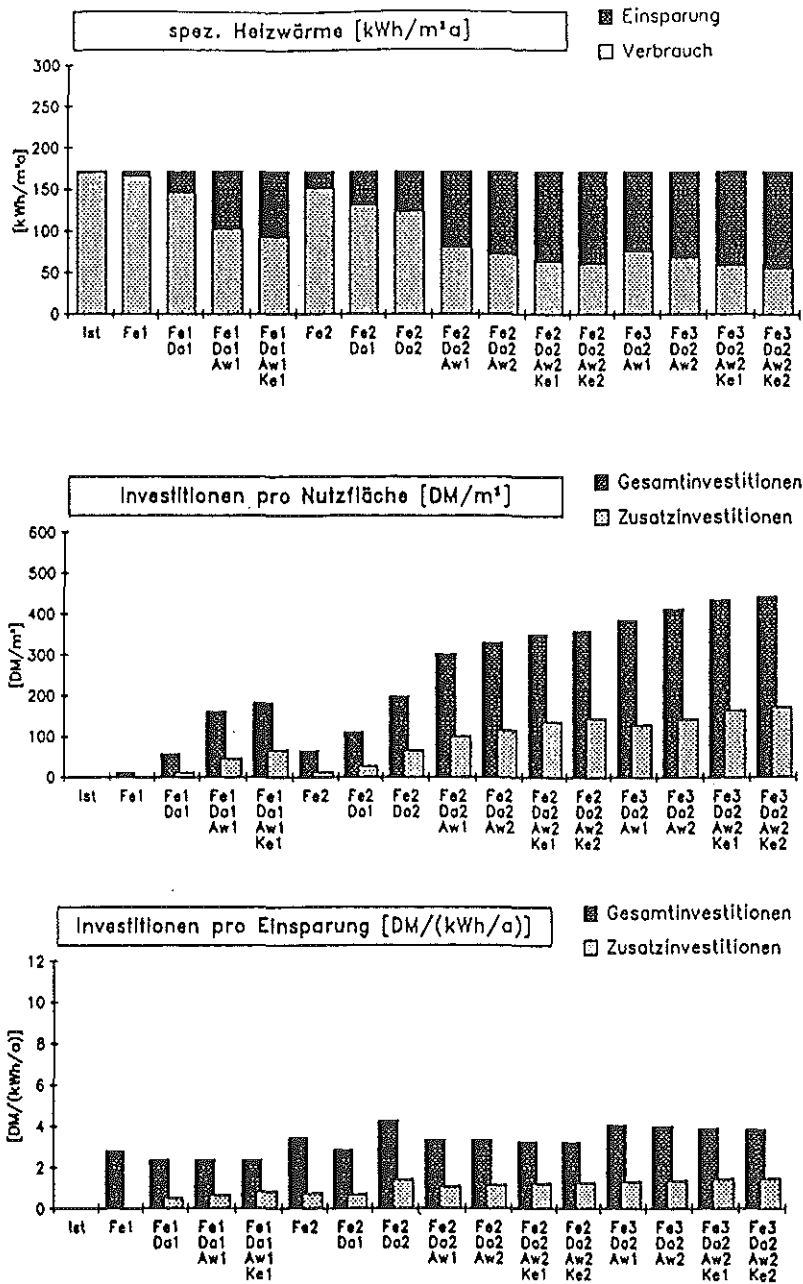
Man sieht, daß durch die hier ausgewählten Maßnahmen bis zu 2/3 des Heizwärmebedarfs im Durchschnitt des Gebäudebestandes eingespart werden könnten, wobei im Einzelfall das Potential höher liegen kann. Bei den neueren Gebäuden (Baujahr 1984-1989) ist aufgrund des vorhandenen besseren Standards nur noch ein Einsparpotential von max. ca. 50% gegeben. Aus den **Bildern 6-1..4** wird weiterhin deutlich, daß mit zunehmendem Einsparpotential immer höhere Investitionen aufzuwenden sind. Dabei können die anfallenden Kosten für die Verbesserung des Wärmeschutzes erheblich reduziert werden, wenn die Maßnahmen im Renovierungszyklus durchgeführt werden, d.h. wenn ohnehin Maßnahmen zur Erhaltung der Bausubstanz ergriffen werden müssen. Man sollte jedoch nicht außer acht lassen, daß

trotzdem die Gesamtinvestitionen aufgebracht werden müssen, obwohl nur die Zusatzinvestitionen (Differenz zwischen Gesamtinvestitionen und Sowiesoinvestitionen) der Maßnahme zugerechnet werden.

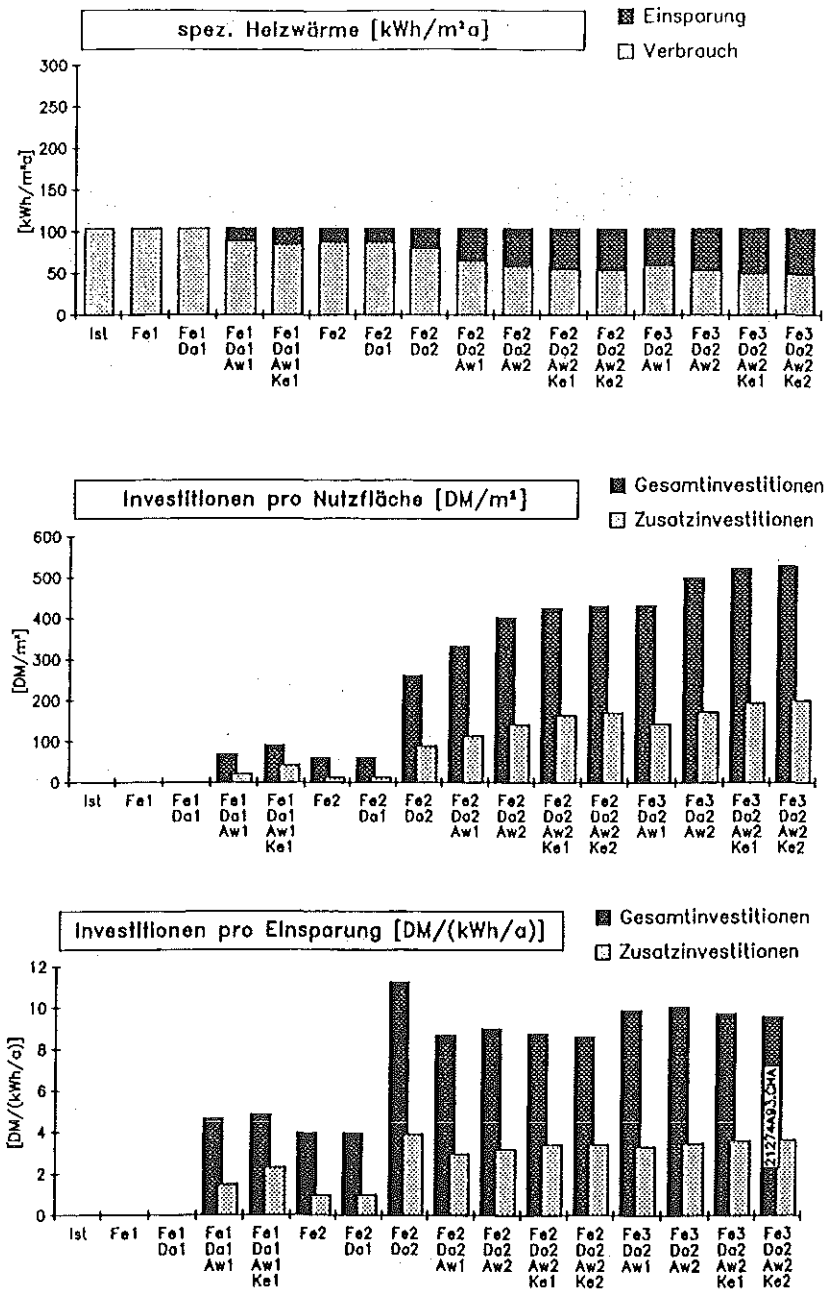
Von den betrachteten Maßnahmen sind unter den derzeit gültigen Preisrelationen lediglich der Fensteraustausch und die Dachdämmung im Bereich der Wirtschaftlichkeit, dies gilt allerdings auch nur bei der Betrachtung der Zusatzinvestitionen und bei Anwendung im Altbau. Bei neueren Gebäuden ist die erreichbare Einsparung im Verhältnis zu den Investitionen so gering, daß sich die Durchführung der Maßnahme in der Regel nicht lohnt. Die vorgenannten Aussagen gelten ausschließlich für den Gebäudedurchschnitt. Im konkreten Einzelfall kann auch die Außenwand- oder Kellerdämmung sinnvoll sein. Dies gilt insbesondere für ältere Gebäude aus der Vorkriegszeit.

Will man mit möglichst wenig Finanzmitteln einen möglichst großen Einspareffekt erzielen, so lassen sich aus dieser Untersuchung folgende Handlungsempfehlungen für z.B. den Einsatz von Fördermitteln oder die Ausarbeitung von Gesetzen, Verordnungen und Vorschriften ableiten:

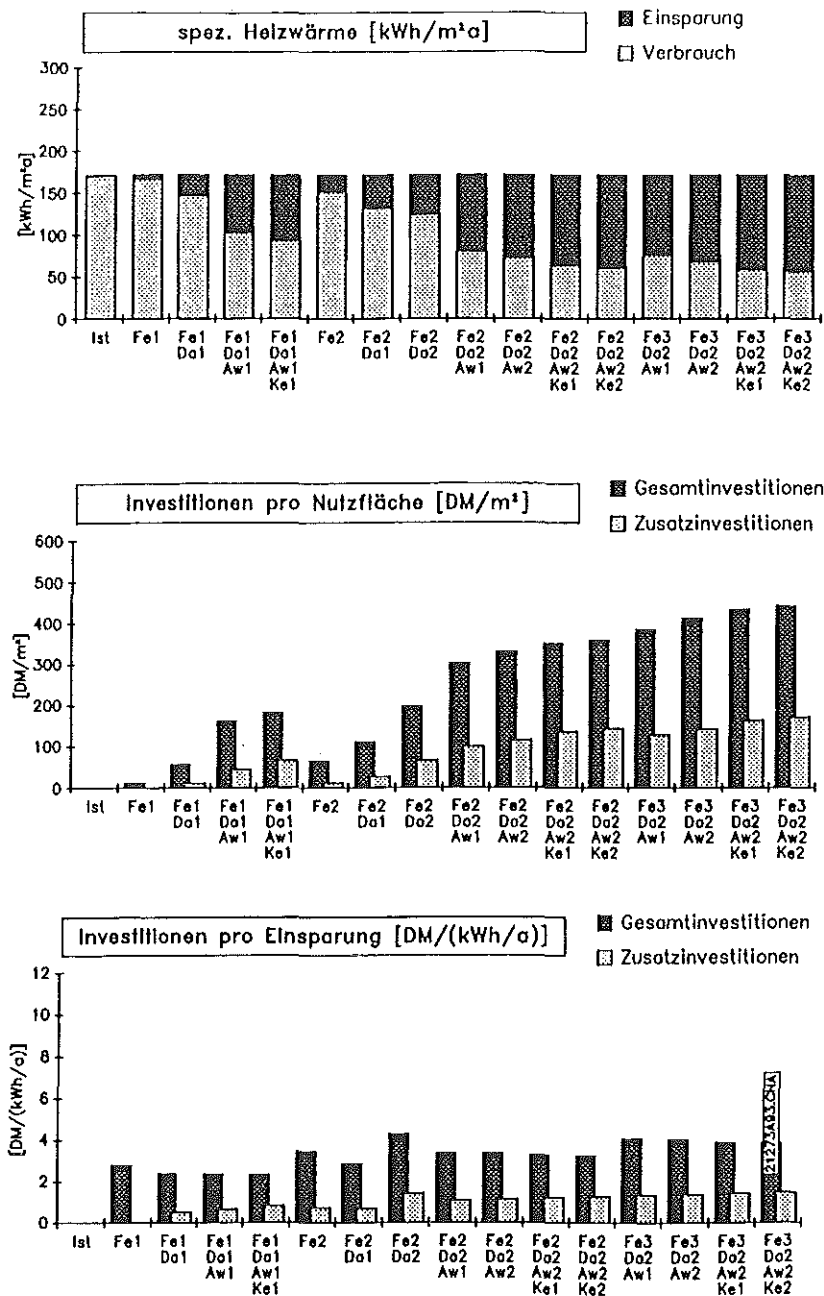
- Maßnahmen zur Verbesserung des Wärmeschutzes sollten grundsätzlich im Renovierungszyklus stattfinden.
- Es sollten eher ältere Gebäude als neuere saniert werden.
- Es ist wichtig, für neue Gebäude von vorneherein entsprechend hohe Anforderungen zu stellen, da eine nachträgliche Verbesserung aufgrund von Sanierungszyklen zur Erhaltung der Bausubstanz von 35 bis 45 Jahren ungleich teurer wird.

**Bild 6-1:**

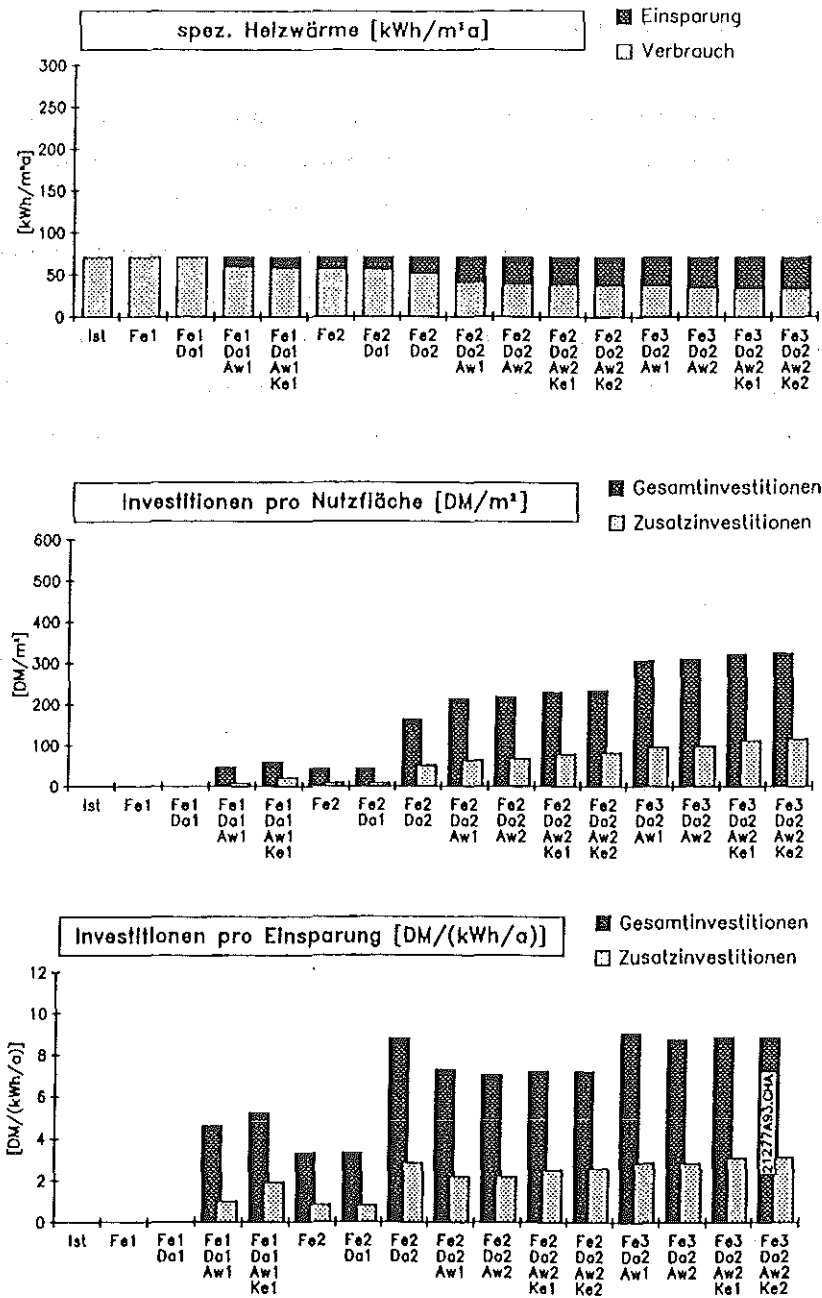
Mittlerer spezifischer Heizwärmebedarf, Heizwärmeeinsparung, Gesamtinvestitionen und Zusatzinvestitionen bei Ein- und Zweifamilienhäusern der Baualtersklasse bis 1983 (Erläuterungen der Maßnahmenkurzbezeichnungen siehe Tabelle 6-8)

**Bild 6-2:**

Mittlerer spezifischer Heizwärmebedarf, Heizwärmeeinsparung, Gesamtinvestitionen und Zusatzinvestitionen bei Ein- und Zweifamilienhäusern der Baualtersklasse 1984 -1989 (Erläuterungen der Maßnahmenkurzbezeichnungen siehe Tabelle 6-8)

**Bild 6-3:**

Mittlerer spezifischer Heizwärmebedarf, Heizwärmeeinsparung, Gesamtinvestitionen und Zusatzinvestitionen bei Mehrfamilienhäusern der Baualtersklasse bis 1983 (Erläuterungen der Maßnahmenkürzbezeichnungen siehe Tabelle 6-8)

**Bild 6-4:**

Mittlerer spezifischer Heizwärmebedarf, Heizwärmeeinsparung, Gesamtinvestitionen und Zusatzinvestitionen bei Mehrfamilienhäusern der Baualtersklasse 1984 - 1989 (Erläuterungen der Maßnahmenkürzelbezeichnungen siehe Tabelle 6-8)

6.1.3. Weitergehende Maßnahmen

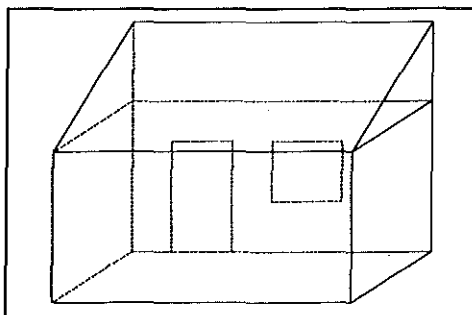
Neben den Einsparmöglichkeiten von Heizwärme durch Dämmmaßnahmen soll außerdem der Einfluß eines Wintergartens, einer transparenten Wärmedämmung sowie einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung auf den Heizwärmebedarf untersucht werden.

Diese Maßnahmen werden jeweils nur an ausgewählten Typgebäuden durchgeführt, wobei als Basis nicht der Ist-Zustand gewählt wird; stattdessen wird davon ausgegangen, daß zugleich Fenster, Dach, Außenwand und Kellerdecke auf den Standard der heute gültigen Wärmeschutzverordnung (Einbau von Isolierverglasung und Dämmung der Außenwand, des Kellers und des Daches entsprechend den Maßnahmen 1) gebracht werden bzw. bereits gebracht worden sind.

- Wintergarten

Es wird ein Standardwintergarten definiert, der an Einfamilien- sowie Reihendoppelhäuser angebaut werden kann. Dieser weist folgende Eigenschaften auf:

- nach Süden ausgerichtet
- Isolierverglasung mit $k_f = 2,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Grundfläche: $17,34 \text{ m}^2$
- Fläche zum Gebäude: $16,44 \text{ m}^2$
- Volumen: $51,5 \text{ m}^3$
- Innenverschattung
- Gesamtinvestitionen: 56.166 DM



- Wärmerückgewinnung

Für ein Lüftungssystem (Wohnungslüftung) mit Wärmerückgewinnung kann von einem Wärmerückgewinnungsgrad von ca. 70 % der Lüftungswärmeverluste ausgegangen werden, wobei mit durchschnittlichen Investitionen zwischen ca. 5.200 DM bei Mehrfamilienhäusern bis etwa 9.200 DM bei Einfamilienhäusern pro Wohnung zu rechnen ist /Biasin, 1993/.

Die wohnungsweise Ausweisung der Investitionen basiert auf der Art der Installation solcher

Lüftungsanlagen, nämlich Zuluft in Wohn- und Schlafräumen und Abluft in WC, Bad und Küche.

Das gewählte System kann prinzipiell in jede Wohnung eingebaut werden; in dieser Arbeit werden exemplarisch jeweils ein altes und ein neues Ein- und Mehrfamilienhaus untersucht. Für die gewählten Einfamilienhäuser wird von einer Lüftungsanlage pro Gebäude ausgegangen, für das alte Mehrfamilienhaus von 9 Anlagen, für das neue Mehrfamilienhaus von 18 Anlagen (bei Zugrundelegung von einer Anlage je Wohnung und 70 m² Wohnfläche je Wohnung beim Mehrfamilienhaus /Kolmetz, u.a., 1992/).

Der Ventilatorstromverbrauch wird mit 5.4 kWh/m²a abgeschätzt, wobei davon ca. 50% wiederum zur Raumheizung beitragen können.

- Transparente Wärmedämmung (TWD)

Transparente Wärmedämmstoffe haben im Gegensatz zu opaken Dämmstoffen zwei Haupteigenschaften, die energetisch wirksam werden:

- TWD-Materialien haben aufgrund ihrer Struktur ähnlich niedrige Wärmeleitzahlen wie opake Dämmmaterialien; dadurch werden Wärmeverluste des Gebäudes verringert.
- Gleichzeitig wird aufgrund der Lichtdurchlässigkeit des TWD-Materials Solarstrahlung auf die dahinterliegende Bauteilfläche transmittiert. Diese wirkt als Absorber, d.h. die eingestrahelte Energie wird als Wärme an das Gebäude abgegeben.

Um einer Überhitzung des Gebäudes im Sommer entgegenzuwirken, müssen vor dem TWD-Material Jalousien angebracht sein, die bei einem zu starken Anstieg der Innentemperaturen automatisch die Außenwand verschatten.

In dieser Arbeit wird zwischen einer TWD-Belegung der Südseite eines Gebäudes mit 50% (Variante 0), 70% (Variante 1) bzw. 100% (Variante 2) unterschieden.

Bei Einfamilienhäusern beträgt der Anteil der Südfassade an der Gesamtfassade etwa 28%, bei großen Mehrfamilienhäusern ca. 37%. Die sonstige Außenwandfläche wird herkömmlich gedämmt (Standard 2/Variante 4). Für das TWD-System wird von Gesamtinvestitionen von DM 1162.-DM/m²_{Sanierungsfläche}² ausgegangen.

² siehe /Gruson, 1992/, S. 121ff

- Einsparpotentiale weitergehender Maßnahmen

Tabelle 6-10 gibt einen Überblick über den Heizwärmebedarf ausgewählter Typgebäude beim Anbau eines Wintergartens, einer transparenten Wärmedämmung mit unterschiedlichen Anteilen an der Südfassade und beim Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung. Ausgangspunkt für diese Maßnahmen ist ein wärmetechnischer Standard entsprechend der gültigen Wärmeschutzverordnung (Standard 2 / Variante 4). Um das Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung mit Dämmmaßnahmen vergleichen zu können, ist in Klammern der Primärenergiebedarf aufgeführt. Zu dessen Berechnung ist ein durchschnittlicher Systemnutzungsgrad (Ölzentralheizung) von 66% bis 71% (abhängig vom Gebäudetyp und Baualter) /Enquete, 1990, S.84/, ein Bereitstellungsnutzungsgrad für Heizöl von 91% und für Strom von 34% /Schaefer, 1980, S.66/ angesetzt.

| Heizwärmebedarf bei Ausführung weitergehender Maßnahmen | | | | | | | |
|---|--------------------------|---------------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | Ist-Zustand [kWh/m²a] | Standard 2 / Variante 4 zuzüglich ... | | | | | |
| | | [kWh/m²a] | ...WiGa [kWh/m²a] | ...WRG [kWh/m²a] | ...50% TWD [kWh/m²a] | ...70% TWD [kWh/m²a] | ...100% TWD [kWh/m²a] |
| EFH 1900-1918 | 204,9 | 93,0 (155) | 81,2 | 65,7 (121) | 62,3 | 54,8 | 46,5 |
| EFH 1984-1989 | 112,4 | 108,7 (161) | 97,0 | 82,4 (134) | 93,0 | 87,4 | 79,7 |
| GMH 1900-1918 | 128,1 | 78,4 (126) | - | 47,5 (88) | 66,8 | 62,9 | 57,7 |
| GMH 1984-1989 | 72,3 | 60,4 (93) | - | 32,7 (62) | 54,7 | 52,6 | 49,7 |

Tabelle 6-10 : Spezifischer Heizwärmebedarf bei Durchführung weitergehender Maßnahmen (die Werte in Klammer geben den primärenergetisch bewerteten Heizwärmebedarf unter Berücksichtigung des Ventilatorstrombedarfs der Lüftungsanlage an)

In **Tabelle 6-10** fällt auf, daß das ältere Einfamilienhaus insgesamt günstiger liegt als das neuere Einfamilienhaus. Dies ist dadurch verursacht, daß es ein wesentlich niedrigeres A/V-

Verhältnis hat (0.67 l/m bei EFH 1900-1918 gegenüber 0.86 bei EFH 1984-1989).

Desweiteren lassen sich folgende Ergebnisse ableiten:

Durch Anbau eines Wintergartens läßt sich der Wärmebedarf gegenüber Standard 2/Variante 4 um ca. 10% verbessern. Mit einem Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung läßt sich eine Einsparung des Nutzwärmebedarfs von ca. 25% beim Einfamilienhaus bis etwa 45% beim Mehrfamilienhaus erreichen. Berücksichtigt man den Ventilatorstrombedarf des Lüftungssystems erhält man eine Primärenergieeinsparung von immerhin noch ca. 17% bis etwa 33%.

Mit Hilfe der TWD-Systeme können hingegen besonders bei den älteren Gebäuden beachtliche Einspareffekte bis zu maximal 50% erzielt werden, die allerdings teuer erkaufte werden müssen: pro eingesparte kWh müssen bei älteren Einfamilienhäusern ca. 4.- DM pro eingesparter kWh/a, bei den neueren sogar um 16.- DM pro eingesparter kWh/a bezahlt werden. Ebenso verhält es sich bei den Wintergärten. Auch hier sind die wirtschaftlichen Einsparpotentiale äußerst gering einzuschätzen. Selbst wenn man davon ausgeht, daß die von /Gruson, 1992/ angesetzten 56.166 DM für einen Wintergarten am oberen Ende der Preisskala liegen und bereits für ca. 30.000 DM ein Wintergarten gebaut werden kann, wird die Wirtschaftlichkeit nicht erreicht. Bei dem Anbau eines Wintergartens steht allerdings oft nicht die Energieersparnis im Vordergrund, sondern die Steigerung des Wohnkomforts sowie ästhetische Gründe spielen eine große Rolle.

Die Investitionen pro Einsparung bei Einbau eines Lüftungssystems mit Wärmerückgewinnung betragen ca. 2-4 DM/(kWh/a), d.h. diese Maßnahme ist als einzige der weitergehenden Maßnahmen von den Kosten her mit Dämmmaßnahmen vergleichbar bzw. sogar kostengünstiger (Tabelle 6-11).

Bei den hier angegebenen Kosten sind auch die Kosten enthalten, die zum Erreichen dieses Standards benötigt werden, soweit die Gebäude die II. WSchVO nicht bereits erfüllen.

| Gesamtinvestitionen pro Nutzwärmeeinsparung ausgehend vom Standard 2/Variante 4 | | | | | | |
|---|--------------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | Standard 2 / Variante 4 zuzüglich... | | | | | |
| | [DM/kWh/a] | ...WiGa [DM/kWh/a] | ...WRG [DM/kWh/a] | ...50% TWD [DM/kWh/a] | ...70% TWD [DM/kWh/a] | ...100% TWD [DM/kWh/a] |
| EFH 1900-1918 | 2,25 | 5,55 | 2,32 | 3,27 | 3,67 | 4,29 |
| EFH 1984-1989 | 4,99 | 28,02 | 2,87 | 14,00 | 14,91 | 16,05 |
| GMH 1900-1918 | 2,72 | - | 2,57 | 3,32 | 3,52 | 3,85 |
| GMH 1984-1989 | 5,30 | - | 3,46 | 7,22 | 7,75 | 8,46 |

Tabelle 6-11: Gesamtinvestitionen pro jährlicher Nutzwärmeeinsparung bei weitergehenden Maßnahmen unter Einbezug herkömmlicher Dämmmaßnahmen (bestehende Gebäude alte Bundesländer)

Betrachtet man die entsprechenden Maßnahmen alleine, so bleiben die Relationen weitgehend erhalten. Der Wintergarten wird wesentlich, die transparente Wärmedämmung etwas unwirtschaftlicher. Einen Überblick zeigt **Tabelle 6-12**.

| Gesamtinvestitionen pro Nutzwärmeeinsparung ausgehend vom Istzustand | | | | | | |
|--|--|--------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| | Standard 2 Variante 4 [DM/kWh/a] | WiGa [DM/kWh/a] | WRG [DM/kWh/a] | 50% TWD [DM/kWh/a] | 70% TWD [DM/kWh/a] | 100% TWD [DM/kWh/a] |
| EFH 1900-1918 | 2,25 | 36,90 | 2,61 | 8,05 | 9,06 | 10,63 |
| EFH 1984-1989 | 4,99 | 35,30 | 2,57 | 16,25 | 16,76 | 17,58 |
| GMH 1900-1918 | 2,72 | - | 2,33 | 6,72 | 7,04 | 7,53 |
| GMH 1984-1989 | 5,30 | - | 2,67 | 12,93 | 13,23 | 13,78 |

Tabelle 6-12: Gesamtinvestitionen pro jährlicher Nutzwärmeeinsparung bei isolierter Betrachtung weitergehender Maßnahmen (bestehende Gebäude alte Bundesländer)

6.1.4. Heizwärmeeinsparpotential in den neuen Bundesländern

Analog zu den Typgebäuden für die alten Bundesländer werden an den Typgebäuden für die neuen Bundesländer die in Kapitel III.3 beschriebenen Maßnahmen durchgeführt und der spezifische Heizwärmebedarf, die Energieeinsparung, die Investitionen pro m^2 Wohnfläche und die Investitionen pro eingesparter kWh Nutzwärme berechnet. Der einzige Unterschied zu den Maßnahmen bei den Typgebäuden für die alten Bundesländer betrifft die Fenstersanierung. Hier wird für die neuen Bundesländer von einem kompletten Fensteraustausch ausgegangen statt nur von einem Fensterglasaustausch wie in den alten Bundesländern, da in den neuen Bundesländern meist auch der Fensterrahmen sanierungsbedürftig ist.

Um einen Überblick über die Ergebnisse geben zu können, werden zwei mittlere Ensemblegebäude - ein Einfamilienhaus und ein Mehrfamilienhaus - gebildet. In **Bild 6-5** und **-6** erkennt man, daß die Einfamilienhäuser in den neuen Bundesländern (ca. $260 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) im Durchschnitt einen wesentlich höheren spezifischen Heizwärmebedarf haben als die Einfamilienhäuser in den alten Bundesländern (ca. $170 \text{ kWh/m}^2\text{a}$), wohingegen die Mehrfamilienhäuser in Ost- und Westdeutschland einen ungefähr gleich hohen Wärmebedarf ausweisen. Diese Relationen gelten allerdings nur unter der Voraussetzung, daß sich die nutzerbedingten Standardbedingungen - wie in Kap. II. beschrieben - in Zukunft für beide Regionen in Deutschland angleichen.

Ausgehend von annähernd gleichen Ausgangswerten bewegt sich auch das Einsparpotential bei den Mehrfamilienhäusern in beiden Regionen ähnlich. Bei den Einfamilienhäusern hingegen erkennt man ein größeres Einsparpotential - von bis zu 75% - im Vergleich zu den alten Bundesländern. Nach Durchführung der Maßnahme wird jedoch in beiden Regionen das gleiche Bedarfsniveau erreicht.

Bei der Betrachtung der Investitionen fällt auf, daß diese bei den einfachen Maßnahmen (Standard I), d.h. Sanierung der Fenster, des Daches, der Außenwand und der Kellerdecke mit Maßnahme 1, fast doppelt so hoch sind wie in den alten Bundesländer. Dies ist dadurch verursacht, daß dort bereits ein großer Anteil des Gebäudebestandes renoviert ist, während in der ehemaligen DDR aufgrund der Eigentumsverhältnisse und des Materialmangels wenig für die Instandhaltung der Gebäudesubstanz getan wurde. Höherwertige Maßnahmen sind in beiden Regionen ungefähr gleich teuer, da von diesen Maßnahmen auch in den alten Bundesländern nur wenige bereits durchgeführt wurden. Sieht man sich die auf die Einsparung bezogenen Investitionen an, dann sind die Maßnahmen in den neuen Bundesländern geringfügig-

gig wirtschaftlicher durchzuführen, da das Einsparpotential sehr viel größer ist. Dies gilt zumindest für die Einfamilienhäuser. Es sei hier noch einmal darauf hingewiesen, daß diese Aussagen nur für die Typgebäude, d.h. für durchschnittliche Gebäude gelten, bei denen unterschiedliche Dämmstandards im Bestand berücksichtigt sind und nicht für real existierende Einzelgebäude.

Weiterhin fällt auf, daß die Maßnahmen zur Fenstersanierung doppelt so teuer sind wie in Westdeutschland. Dies liegt darin begründet, daß für die neuen Bundesländer von einem teureren Fensteraustausch statt von Fensterglasaustausch ausgegangen worden ist.

In den neuen Bundesländern ist eine Reduzierung des Heizwärmebedarfs um ca. 30% bereits durch Einbau von Wärmeschutzfenstern und Wärmedämmung der Dächer im gesamten Wohnungsbestand möglich. Geht man davon aus, daß der Wohnungsbestand in den neuen Bundesländern ohnehin saniert werden muß, errechnen sich die Kosten für den zusätzlichen Wärmeschutz zu ca. 28.6 Mrd. DM. Die Gesamtinvestitionen betragen ca. 78 Mrd. DM.

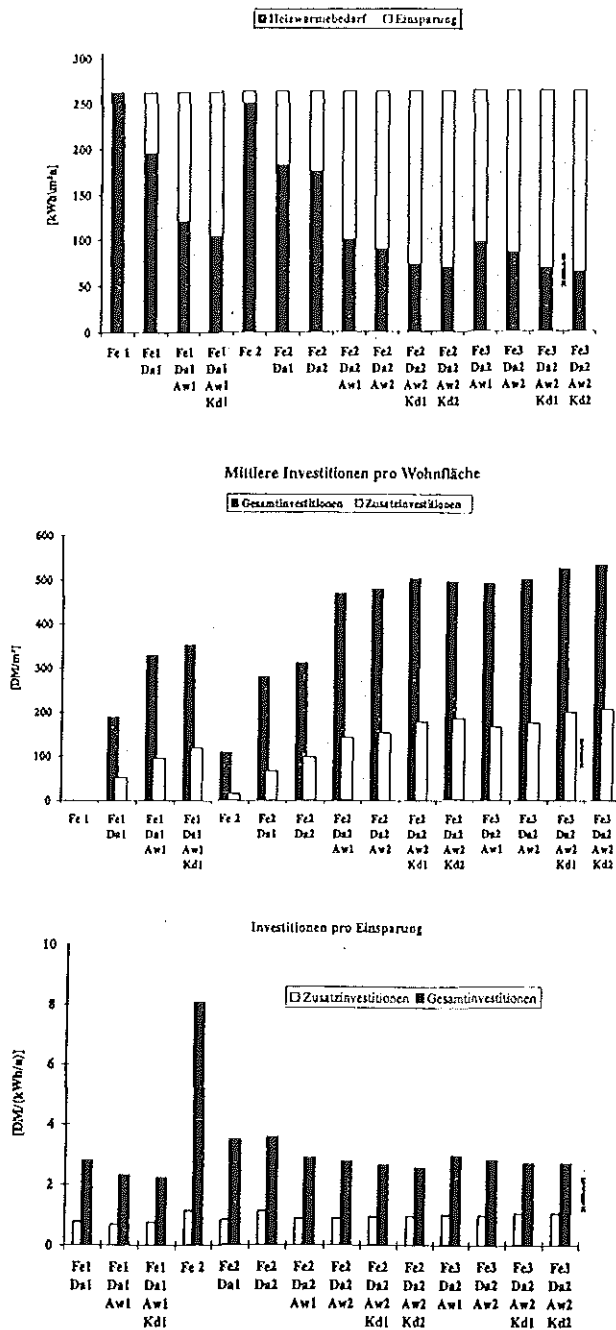


Bild 6-5: Mittlerer spezifischer Heizwärmebedarf, Heizwärmeeinsparung, Gesamtinvestitionen und Zusatzinvestitionen bei Einfamilienhäusern im Gebäudebestand der neuen Bundesländer (Erläuterungen zu den Maßnahmenkurzbezeichnungen siehe Tabelle 6-8)

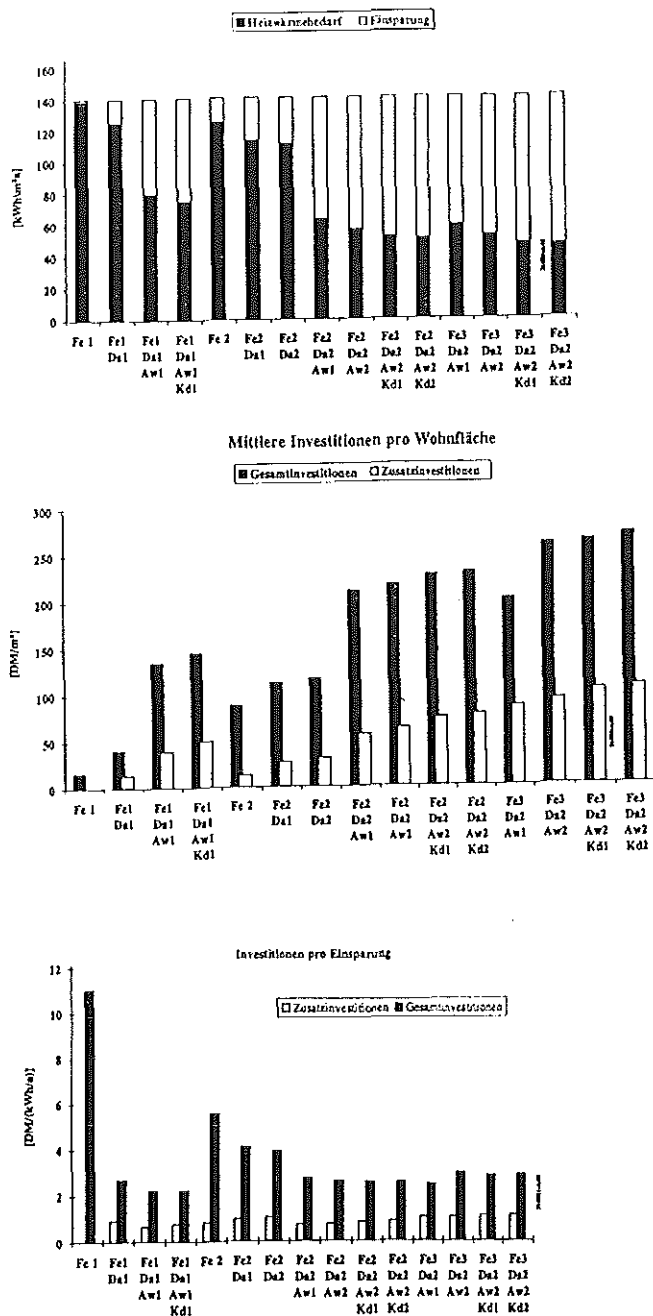


Bild 6-6: Mittlerer spezifischer Heizwärmebedarf, Heizwärmeeinsparung, Gesamtinvestitionen und Zusatzinvestitionen bei Mehrfamilienhäusern im Gebäudebestand der neuen Bundesländer (Erläuterungen zu den Maßnahmenkurzbezeichnungen siehe Tabelle 6-8)

6.1.5. Einsparpotential im Neubaubereich

Im Neubaubereich werden nicht einzelne Maßnahmen an Bauteilen unterschieden, sondern es werden 4 Standards gebildet, die sich in Aufbau und Konstruktion unterscheiden. Für detaillierte Informationen zur Konstruktion und Schichtaufbauten sei auf Kap. 3. dieses Berichtes bzw. auf den Bericht /IBP, 1992b/ verwiesen. Der Standard heute stellt das Spektrum der zum Statusjahr 1989 neu erstellten Gebäude da. Standard 2 bezieht sich auf Anforderungen der II. Novellierung der Wärmeschutzverordnung. Standard 3 berücksichtigt eine weitere Verschärfung und Standard 4 schließlich bezieht zukünftige Niedrigenergiehäuser ein.

Zur Investitionskostenermittlung ist auf einen im Rahmen des Projektes erstellten Maßnahmenkatalog /Gruson, 1992/ sowie auf /RWE, 1989/ zurückgegriffen worden. Bei den Kosten werden lediglich die Mehrinvestitionen gegenüber dem heutigen Standard berücksichtigt. Dies bedeutet, daß die Kosten, die beim Bau eines Hauses nach der geltenden Wärmeschutzverordnung anfallen, nicht betrachtet werden, da sie nicht einer Verbesserung des Wärmeschutzes zugerechnet werden können. Nur wenn der Bauherr die vorgeschriebenen Erfordernisse übererfüllt oder die gesetzlichen Vorschriften verschärft werden, fallen anrechenbare Kosten an.

Die Kostenunterschiede zwischen kleinen und großen Gebäuden (Ein-/Zweifamilienhäuser - EFH; Mehrfamilienhäuser - MFH) werden berücksichtigt. Die in **Tabelle 6-13** dargestellten Investitionen sind auf die Bauteilflächen bezogen. Mit Hilfe der von IBP angegebenen Geometriedaten sind daraus die flächenspezifischen Investitionskosten bezogen auf die Wohnfläche des Gebäudes ermittelt worden.

Für den Neubau kann nicht wie beim Gebäudebestand von einer Teilnutzung ausgegangen werden. Daher sind die Standardraumtemperaturen von 18,5°C (EFH) bzw. 19,5°C (MFH) auf 20°C und der Standardluftwechsel entsprechend der II. Novellierung der Wärmeschutzverordnung von 0,6 1/h auf 0,7 1/h erhöht worden.

Entsprechend diesen Vorgaben ist für die verschiedenen Typen und Standards der spezifische Jahresheizwärmebedarf errechnet worden. Die auf die eingesparte Heizwärme bezogenen Kosten geben Aufschluß über die Wirtschaftlichkeit von verbesserten Baukonstruktionen im Neubau. Zusätzlich zu den vorgenannten Werten wird in **Tabelle 6-14** der mittlere k_m -Wert angegeben.

Man sieht, daß durch Verschärfung der Bauvorschriften ein beachtenswertes Einsparpotential

von bis zu 2/3 des heutigen Heizwärmebedarfs erschlossen werden kann. Allerdings ist diese Einsparung mit beträchtlichen Kosten verbunden, die von 146 DM/m² bei einem Hochhaus bis zu 233 DM/m² bei einem freistehenden Einfamilienhaus (jeweils in Niedrigenergiebauweise - Standard 4 - gebaut) reichen kann. Dadurch wird die Schwelle der Wirtschaftlichkeit nach heutigem Kostenstand nicht erreicht.

Hier ist zu beachten, daß sich die drei Standards der Außenwände in der Konstruktion und im Baumaterial unterscheiden, da in der Zukunft von anderen Bauweisen ausgegangen werden muß.

| Stand. | Außenwand | | Dach | | Fenster | | Kellerdecke | |
|----------|------------------------------|---|------------------------------|---|------------------------------|---|------------------------------|---|
| | k-Wert W/m ² K | Invest. DM/m ² EFH/ MFH | k-Wert W/m ² K | Invest. DM/m ² EFH/ MFH | k-Wert W/m ² K | Invest. DM/m ² EFH/ MFH | k-Wert W/m ² K | Invest. DM/m ² EFH/ MFH |
| heute | 0,89 | - | 0,35 | - | 2,6 | - | 0,89 | - |
| Stand. 2 | 0,53 | 40 ¹ | 0,30 | 9,30/8,70 | 2,6 | - | 0,51 | 6 |
| Stand. 3 | 0,29 | 65 ¹ | 0,16 | 61/54 | 1,4 | 91/62 | 0,29 | 18 |
| Stand. 4 | 0,14 | 91/88 ¹ | 0,12 | 80/71 | 0,9 | 228/176 | 0,16 | 46 |

Tabelle 6-13 :

k-Werte der Bauteile und Investitionskosten für die Verbesserung gegenüber dem heutigen Standard bezogen auf die Bauteilfläche (¹ /RWE, 1989/)

| Gebäudetyp | k_n -Wert [W/m ² K] | Spez. Heizwärme- bedarf [kWh/m ² a] | Zusatzinv. pro Wohnfläche [DM/m ²] | Zusatzinv. pro Einsparung [DM/kWh] | A/V-Verhältnis [1/m] |
|------------|-------------------------------------|---|--|--|-------------------------|
| EFH heute | 0,69 | 149,6 | - | - | 0,83 |
| Stand. 2 | 0,54 | 118,8 | 49 | 1,58 | |
| Stand. 3 | 0,31 | 72,8 | 148 | 1,93 | |
| Stand. 4 | 0,19 | 50,5 | 233 | 2,35 | |
| DHH heute | 0,74 | 149,7 | - | - | 0,63 |
| Stand. 2 | 0,55 | 121,8 | 44 | 1,56 | |
| Stand. 3 | 0,32 | 80,6 | 118 | 1,71 | |
| Stand. 4 | 0,20 | 62,3 | 189 | 2,15 | |
| RMH heute | 0,67 | 117,8 | - | - | 0,50 |
| Stand. 2 | 0,57 | 100,9 | 24 | 1,42 | |
| Stand. 3 | 0,33 | 71,5 | 84 | 1,82 | |
| Stand. 4 | 0,22 | 59,6 | 140 | 2,41 | |
| ZFH heute | 0,70 | 155,3 | - | - | 0,74 |
| Stand. 2 | 0,56 | 125,2 | 48 | 1,59 | |
| Stand. 3 | 0,32 | 76,8 | 147 | 1,87 | |
| Stand. 4 | 0,21 | 55,7 | 236 | 2,37 | |
| KMH heute | 0,76 | 146,9 | - | - | 0,60 |
| Stand. 2 | 0,59 | 118,0 | 43 | 1,50 | |
| Stand. 3 | 0,34 | 75,3 | 111 | 1,55 | |
| Stand. 4 | 0,21 | 56,0 | 180 | 1,98 | |
| GMH heute | 0,88 | 131,5 | - | - | 0,47 |
| Stand. 2 | 0,68 | 104,5 | 41 | 1,51 | |
| Stand. 3 | 0,38 | 63,9 | 100 | 1,48 | |
| Stand. 4 | 0,23 | 46,0 | 160 | 1,87 | |
| HOH heute | 0,85 | 109,1 | - | - | 0,43 |
| Stand. 2 | 0,68 | 87,5 | 33 | 1,54 | |
| Stand. 3 | 0,38 | 51,1 | 88 | 1,53 | |
| Stand. 4 | 0,24 | 35,5 | 146 | 1,98 | |

Tabelle 6-14: Mittlerer k-Wert, spez. Heizwärmebedarf, spezifische Zusatzinvestitionen und Zusatzinvestitionen pro eingesparter Heizwärme (Neubau)

6.1.6. Ökonomische Bewertung von Einsparmaßnahmen an der Gebäudehülle

Aus den in den vorangegangenen Kapiteln gezeigten Bildern wird deutlich, daß die Investitionen für eine Energiesparmaßnahme mit zunehmendem Einsparpotential größer werden. Man muß hier jedoch beachten, daß sich diese "Kostenkennlinien" aus einer bestandsgewichteten Summe von Einzelmaßnahmen an verschiedenen Gebäuden unterschiedlicher Baualtersklassen zusammensetzen.

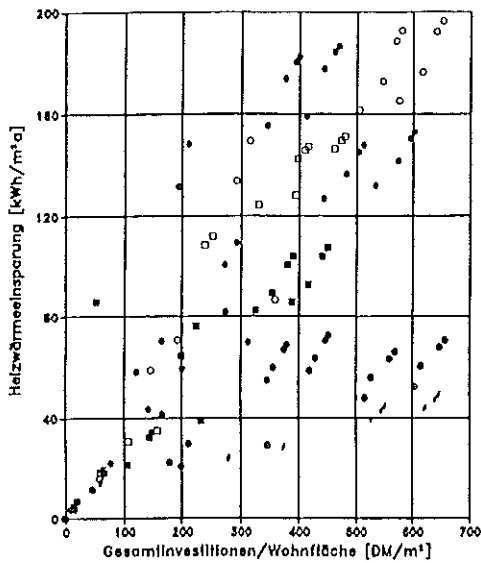
In **Bild 6-7** ist die Heizwärmeeinsparung über die spezifischen Investitionen (pro m² Wohnfläche) für Einfamilien- und große Mehrfamilienhäuser aufgetragen. Deutlich ist die bereits angesprochene Tendenz zu steigenden Investitionen bei steigendem Einsparpotential zu erkennen. Allerdings ist die Steigung dieser Kurve stark vom Baualter des Gebäudes abhängig, so daß sich bei Einsparpotentialen oberhalb von ca. 20% eine große Streuung ergibt. Diese Streuung liegt darin begründet, daß die Durchführung von Einsparmaßnahmen an der Gebäudehülle bei älteren Gebäuden effektiver ist als bei jüngeren.

Die schraffierte Fläche in **Bild 6-7** gibt den Bereich an, in dem das Einsparpotential im Neubau entsprechend Kapitel V. liegt. Man sieht, wie wichtig es ist, neu zu errichtende Gebäude mit einem möglichst hohen Standard zu bauen, da die Zusatzinvestitionen zur nachträglichen Sanierung eines neuen, bereits bestehenden Hauses wesentlich über den Investitionen liegen, die man aufwenden muß, um einen zu errichtenden Neubau von vorneherein mit einem besseren Standard auszustatten.

Interessant ist, daß die ausgeprägte Abhängigkeit der Kosteneffektivität vom Baualter bei Maßnahmen mit geringem Einsparpotential noch nicht auftritt. Hier ist ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen Heizwärmeeinsparung und spezifischen Investitionen erkennbar. Mit zunehmendem Einsparpotential und damit zunehmender Komplexität der Maßnahmen (Kombination mehrerer Maßnahmen) weiten sich die Kurven weiter auf.

Das Obengesagte gilt natürlich auch für die Zusatzinvestitionen im Renovierungszyklus. Aus **Bild 6-7** wird noch einmal deutlich, daß wärmetechnische Sanierungsmaßnahmen, die im Renovierungszyklus durchgeführt werden, billiger sind als Maßnahmen, die ausschließlich zur Verbesserung des Wärmeschutzes verwirklicht werden.

Effizienz von Einsparmaßnahmen an der Gebäudehülle



Freistehende Ein-/Zweifamilienhäuser (alte Bundesländer)

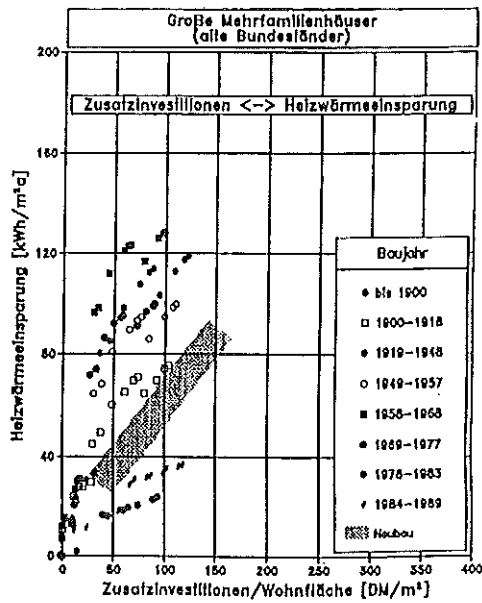
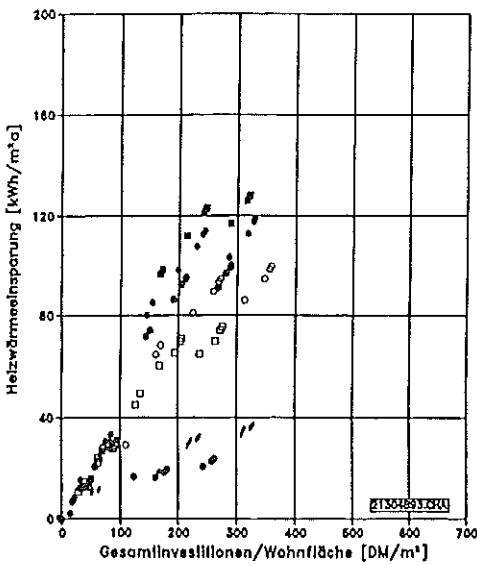
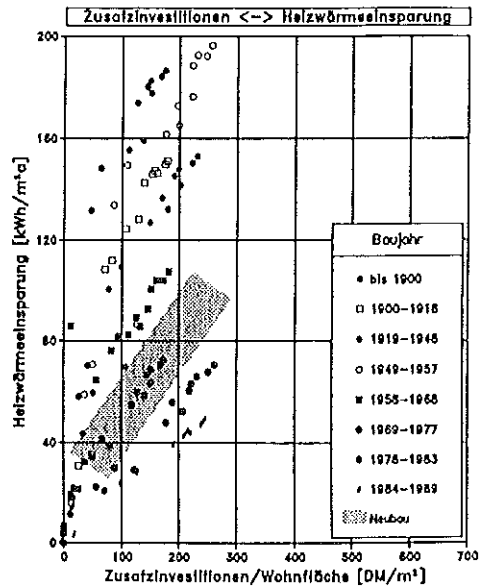


Bild 6-7: Spezifische Heizwärmeeinsparung in Abhängigkeit von den spezifischen Gesamt- und Zusatzinvestitionen (pro m² Wohnfläche) für Ein- und Mehrfamilienhäuser (alte Bundesländer)

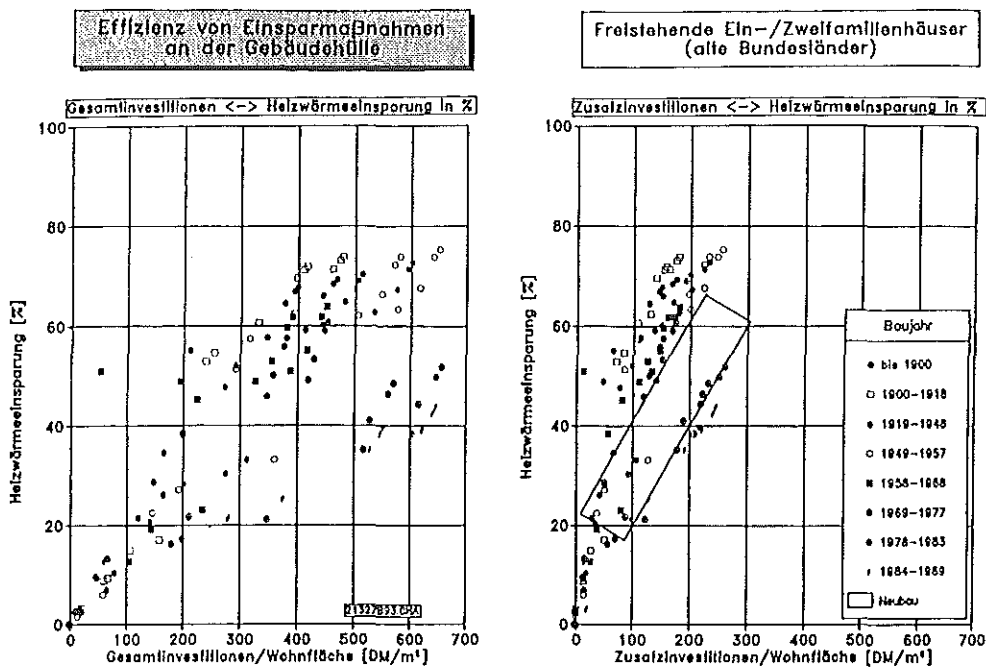


Bild 6-8: Prozentuale Heizwärmeeinsparung in Abhängigkeit von den spezifischen Gesamt- und Zusatzinvestitionen (pro m² Wohnfläche) für Einfamilienhäuser (alte Bundesländer)

In **Bild 6-8** ist die Heizwärmeeinsparung prozentual dargestellt. Durch diese Darstellungsart nivellieren sich die Unterschiede zwischen den einzelnen Maßnahmen, da gleiche prozentuale Einsparung unterschiedliche absolute Einsparung bedeuten kann. Es wird klar, daß für Hochrechnungen der Investitionen eine detaillierte Untersuchung an Typgebäuden erforderlich ist. In **Bild 6-9** werden die Investitionen für Einsparmaßnahmen in den alten und neuen Bundesländern am Beispiel von Ein-/Zweifamilienhäusern und kleinen Mehrfamilienhäusern verglichen. Insbesondere bei den Ein- und Zweifamilienhäusern wird deutlich, daß entsprechende Maßnahmen in den neuen Bundesländern wesentlich effizienter durchgeführt werden können. Dies wird auch in den volkswirtschaftlichen Gesamtrechnungen deutlich, die im nächsten Kapitel vorgestellt werden.

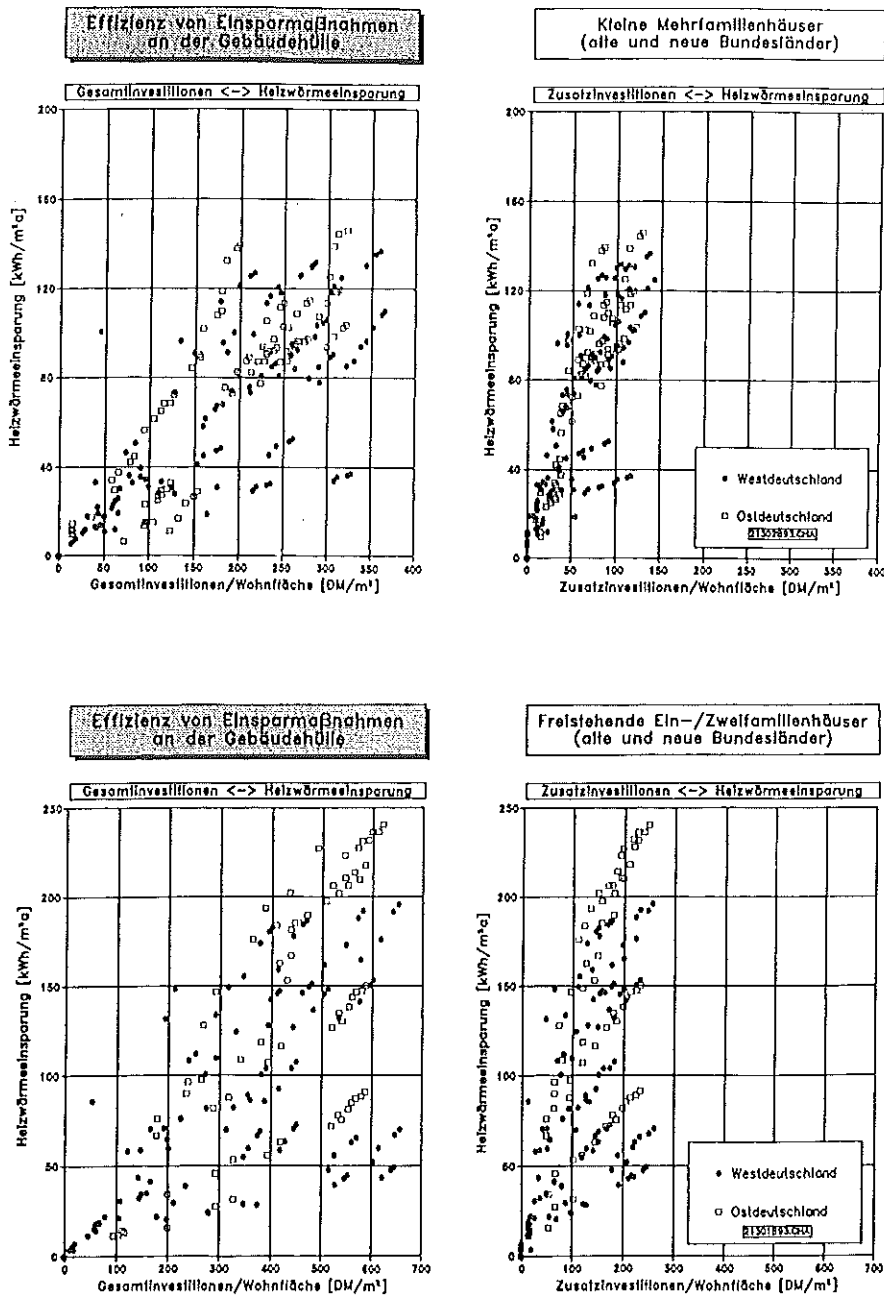


Bild 6-9: Spezifische Heizwärmeinsparung in Abhängigkeit von den spezifischen Gesamt- und Zusatzinvestitionen (pro m² Wohnfläche) für Ein- und Mehrfamilienhäuser (alte und neue Bundesländer)

6.1.7. Volkswirtschaftliche Auswirkungen

Ziel der Bundesregierung ist es, bis zum Jahr 2005 den CO₂-Ausstoß um 25-30% zu senken. Wenn dieses Ziel auch im Bereich der Heizwärme erreicht werden soll, so muß berücksichtigt werden, daß Gebäude nur im Abstand von ca. 35 - 45 Jahren saniert werden. Eine Überschlagsrechnung ergibt folgenden Prozentsatz der im Zeitraum von 1990 bis 2005 zu renovierenden Gebäude in den alten Bundesländern.

| Baualtersklasse | - 1900 | 1901- 1918 | 1919- 1948 | 1949- 1957 | 1958- 1968 | 1969- 1977 | 1978- 1983 | 1984- 1989 |
|-----------------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Anteil | 50% | 47,5% | 7,5% | 80% | 70% | 0 | 0 | 0 |

Tabelle 6-15: Anteil der zwischen 1990 und 2005 zu renovierenden Gebäude (alte Bundesländer)

Der geringe Anteil von Gebäuden der Baualtersklasse zwischen 1919 und 1948 rührt daher, daß der größte Teil bereits in den letzten Jahren saniert wurde und erst nach 2005 wieder zur Renovierung ansteht; die Gebäude vor 1918 sind im Durchschnitt bereits einmal renoviert worden und müssen bis zum Jahr 2005 zu ca. 50% ein zweites Mal saniert werden.

Für die weiteren Überlegungen wird angenommen, daß dieser Gebäudeanteil am Bestand zusätzlich während der anstehenden Renovierung wärmegeklämmt wird, der restliche Anteil bleibt ungedämmt. Weiterhin wird zur besseren Übersicht angenommen, daß bei allen zu renovierenden Gebäuden jeweils die gleiche Maßnahme angewendet wird.

Bild 6-10 zeigt eine Übersicht über die erreichbare Einsparung bei der jeweiligen Variante, wobei man nicht vergessen darf, daß nur die im Sanierungszyklus wärmezudämmenden Gebäude das gesamte Einsparpotential bereitstellen müssen.

Würden auch die neueren Gebäude, für die in den nächsten Jahren keine Renovierung notwendig wird, in die Betrachtung mit einbezogen, wäre das Einsparungsziel zwar mit weniger extremen wärmetechnischen Maßnahmen (Einbau von Wärmeschutzverglasung und Wärmedämmung der Dächer) erreichbar, die Investitionen würden aber ca. um den Faktor 3 steigen, da die gesamten anfallenden Kosten (z.B. auch für Erneuerung des Außenputzes, Gerüst etc.) dem zusätzlichen Wärmeschutz angerechnet werden müssen.

Die Maßnahme mit dem geringsten Einsparpotential von ca. 4.6% bezieht sich auf den Ersatz von Einfachverglasung durch Isolierverglasung. Hier entstehen im Zuge der Renovierung keine Kosten für den zusätzlichen Wärmeschutz, da Einfachverglasungen grundsätzlich mindestens durch Isolierverglasung ersetzt werden muß. Standard 3/Variante 1 (Fe2) beinhaltet den Austausch von Einfachverglasung durch Wärmeschutzverglasung und Standard 4/Variante 1 (Fe3Da2Aw1) den Einbau einer Art "Superverglasung". Bei diesem Fall ist davon ausgegangen worden, daß außer des Fensteraustausches auch das Dach und die Außenwand wärme gedämmt werden, da es nur bedingt sinnvoll ist, ein Bauteil auf Niedrigenergiehausniveau zu verbessern und die übrigen im Ursprungszustand zu belassen.

Der Standard 3/Variante 4 (Fe2Da2Aw1) beschreibt Gebäude, die voraussichtlich den Vorgaben der zukünftigen Wärmeschutzverordnung entsprechen, der Standard 4 /Variante 4 (Fe3Da2Aw2Kd2) erfüllt den Niedrigenergiehausstandard. Man sieht, daß mit Durchführung der Maßnahme 3/4 eine Einsparung von ca. 26% erreicht wird. Hierfür müßten bei allen von 1990 bis 2005 anstehenden Renovierungen die Fenster mit Wärmeschutzverglasung ($k\text{-Wert} = 1.4 \text{ W/m}^2\text{K}$) ausgestattet und die Dächer und Außenwände wärme gedämmt werden. Dies wäre mit gesamtwirtschaftlichen Kosten von ca. 117 Mrd. DM (Zusatzinvestitionen, nur alte Bundesländer, ohne MWSt., Kostenbasis 1989) verbunden, wobei ca. 35% der Gesamtwohnfläche saniert wird. Unter der Annahme einer mittleren Nutzungsdauer von ca. 40 Jahren und einer statischen Heizungsstruktur ergäben sich damit ca. 153 DM pro eingesparter Tonne CO_2 .

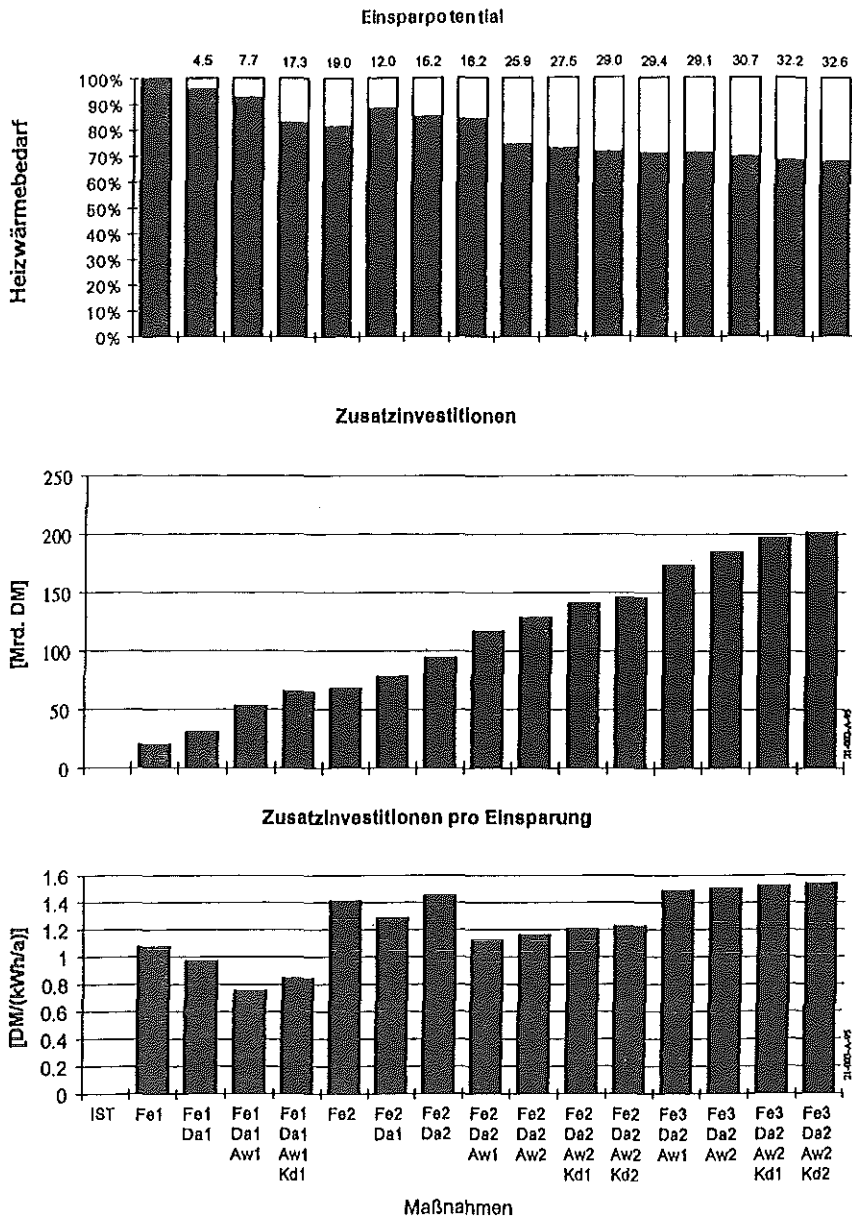


Bild 6-10: Heizwärmeeinsparpotential, Zusatzinvestitionen pro m² Wohnfläche bzw. pro eingesparter kWh Heizwärme im Gebäudebestand der alten Bundesländer bis zum Jahre 2005 unter der Voraussetzung, daß alle im Zeitbereich von 1990 bis 2005 anstehenden Renovierungen mit der jeweiligen Maßnahme durchgeführt werden.

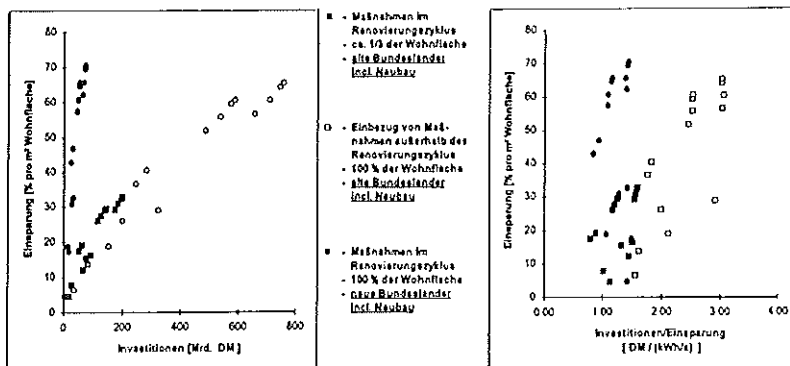
(Erläuterungen zu den Maßnahmenkurzbezeichnungen siehe Tabelle 6-8)

Diese Einsparung bezieht sich auf das Basisjahr 2005, für das vorausgesetzt wird, daß Zubau und Abriss gemäß /Prognos, 1992/ erfolgt und der bauphysikalische Standard der Zubauten dem Stand der Technik 1989 entspricht. Bei der Simulation der Maßnahmen sind für den Neubau Standards ausgewählt worden, die mit dem jeweils gewählten Standard des Altbaubestandes korrespondieren, d.h. wenn der Bestand auf Standard 3 verbessert wird, so wird auch für den Neubau Standard 3 angesetzt.

In **Bild 6-11** sind für die obengenannten Maßnahmen die prozentuale Heizwärmeeinsparung über den absoluten und spezifischen Investitionen aufgetragen.

Es zeigt sich anschaulich, daß zwar ein sehr großes Einsparpotential besteht, dieses zu erschließen jedoch mit erheblichen finanziellen Aufwendungen verbunden ist. Die effizientesten Maßnahmen sind in den neuen Bundesländern durchzuführen. Bei der Kostenbewertung ist allerdings davon ausgegangen worden, daß praktisch 100% der Wohnfläche in den neuen Bundesländern sanierungsbedürftig ist und daher nur Zusatzinvestitionen anzurechnen sind. Um 31% des Nutzenergiebedarfs der Wohngebäude in den neuen Bundesländern einzusparen, sind in den nächsten 15 Jahren ca. 34 Mrd. DM zu investieren.

Wollte man in den alten Bundesländern das technische Einsparpotential von ca. 65% erreichen - was alleine schon aufgrund begrenzter Baukapazitäten nicht verifizierbar ist -, so ergäben sich zusätzliche Investitionen von ca. 773 Mrd. DM bzw. 405 DM pro eingesparter Tonne CO₂.



- Annahmen:
- für Maßnahmen im Renovierungszyklus sind nur Zusatzinvestitionen angesetzt
 - für Maßn. außerhalb des Renovierungszyklus wurden Gesamtinvestitionen angesetzt
 - für die neuen Bundesländer wird von einem Renovierungsbedarf von 100% in den nächsten 15 Jahren ausgegangen

Quelle für Abriss und Zubau: Prognos '92

Bild 6-11: Einsparpotential und Investitionen für Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle

Die bisherigen Betrachtungen beziehen sich jeweils auf das Basisjahr 2005. Das bedeutet, es wird zunächst der Heizwärmebedarf für das Jahr 2005 unter der Voraussetzung berechnet, daß bis dahin keinerlei Energiesparmaßnahmen durchgeführt werden. Diese Vorgehensweise ist für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen erforderlich.

Das Ziel der Bundesregierung ist jedoch eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 25-30% gegenüber dem Basisjahr 1989. Das Einsparpotential bezogen auf dieses Basisjahr zeigt **Bild 6-12**. Man sieht, daß aufgrund des Zubaus an Wohnflächen zunächst mit einem Anstieg des Heizwärmebedarfs zu rechnen ist. Erst mit dem Einbau von Wärmeschutzverglasung und Dämmung weiterer Fassadenflächen wird eine Reduktion des Heizwärmebedarfs erreicht. Das Ziel der Bundesregierung ist durch Maßnahmen an der Gebäudehülle bei alleiniger Durchführung im Renovierungszyklus nicht erreichbar, die maximale Einsparung liegt bei ca. 22%. Weitere Einsparungen müssen durch weitergehende Maßnahmen oder durch Maßnahmen, die außerhalb des Renovierungszyklus durchgeführt werden, angestrebt werden.

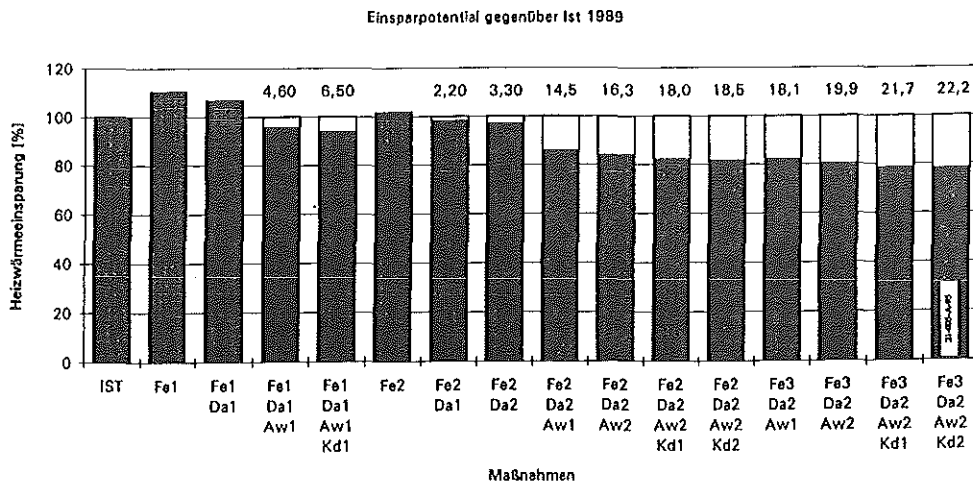


Bild 6-12: Einsparpotential gegenüber dem Basisjahr 1989

6.2. Einsparpotential durch Maßnahmen am Heizungssystem

6.2.1. Einfluß der Überdimensionierung

Bei alten Anlagen wurde bei der Dimensionierung des Kessels häufig eine "Sicherheitsreserve" eingerechnet und ein leistungsstärkerer Kessel installiert als zur Deckung des Heizwärmebedarfs nötig wäre. Andererseits steht in der Regel kein Kessel zur Verfügung der exakt dem Normwärmebedarf des Gebäudes entspricht. In dieser Untersuchung wird für alte Anlagen (Baujahr vor 1983) ein Überdimensionierungsfaktor von im Mittel 1.8 bis 2.0 als repräsentativ angesehen, bei neuen Anlagen wird ein Faktor von im Mittel 1.2 angenommen. In **Bild 6-13** sind die Energiebedarfskennlinien - normiert auf die Wärmeabgabe bei 100% Auslastung - von zwei Ölkesseln unterschiedlicher Baualtersklassen abgebildet. Auf Grund der größeren Bereitschaftsverluste (Schnittpunkt der Kennlinien mit der y-Achse) des vor 1976 gebauten Kessels wirkt sich die Überdimensionierung und damit sinkende Auslastung stärker auf den Endenergieeinsatz aus als beim Niedertemperaturkessel.

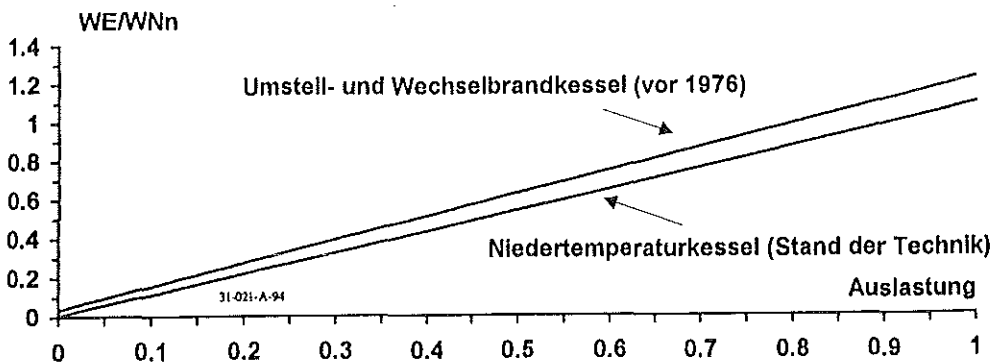


Bild 6-13: Kennlinie Normierter Energieeinsatz für einen Ölkessel, Baujahr vor 1976 und einen modernen Niedertemperaturölkessel

WE/WW_N: Verhältnis Endenergiebedarf zu Bruttowärmebedarf

Die Auswirkungen der Überdimensionierung zeigt **Bild 6-14**, wobei beispielhaft eine 20%ige bzw. 100%ige Überdimensionierung ausgewählt wurde. Die Berechnung ist mit einem Einfamilienhaus (Alte Bundesländer, Baujahr bis 1900, Istzustand 1989, 155 m² Wohnfläche, 269,3 kWh/m²a spez. Heizwärmebedarf, 142,5 W/m² spez. Normwärmebedarf jeweils bezogen auf die Wohnfläche) durchgeführt worden. Die mittlere jährliche Auslastung der Wärmeerzeuger ergibt sich zu 19% (bei 1,2-facher Dimensionierung) bzw. 12% (bei doppelter Dimensionierung). Es ist tendenziell abzulesen, daß sich bei neueren Kesseln eine zu große Auslegung nicht so negativ bemerkbar macht wie bei älteren Systemen.

Der Ausbau der Kesselleistung von 27 kW auf 54 kW bei einem Umstell- und Wechselbrandkessel mit Ölzerstäubungsbrenner erhöht den Endenergieeinsatz um 6,5%, bei einem Niedertemperaturkessel (Stand der Technik) beträgt die Steigerung lediglich 1,2%. Deutlich höher ist die Steigerung bei Festbrennstoffkesseln (Steinkohle), die bei gleichen Annahmen 9,6% (Baujahr vor 1989) bzw. 8,7% (Stand der Technik) mehr Energie verbrauchen.

Eine Überdimensionierung macht sich bei modernen Heizungen folglich weniger im Brennstoffverbrauch bemerkbar, als vielmehr in den vom Hauseigentümer aufzuwendenden Investitionskosten. Eine Niedertemperaturkesselanlage (Stand der Technik), dessen Leistung doppelt so groß ist wie benötigt, ist um ca. 27% (Öl) bzw. um ca. 14% (Gas) teurer als die richtig bemessene Kesselanlage.

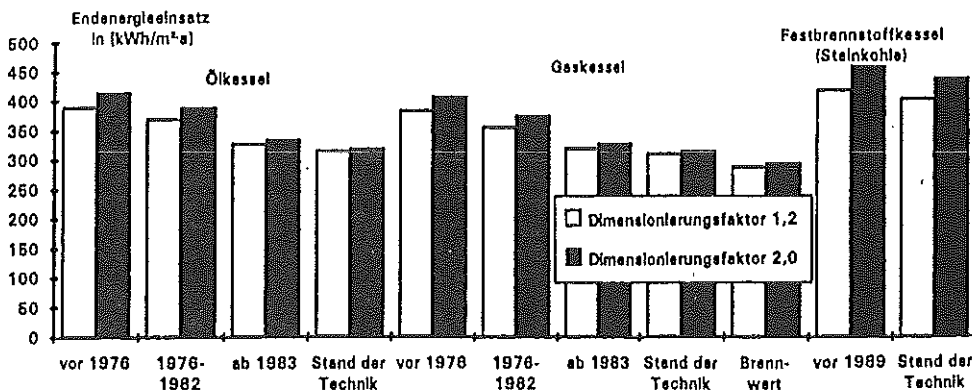


Bild 6-14: Auswirkung der Überdimensionierung von verschiedenen Heizkesseln bei einem Einfamilienhaus

Bei Wärmeerzeugern mit höheren Leistungen ab ca. 80 kW ist der Einfluß der Überdimensionierung auf den Energiebedarf geringer. Die Ergebnisse von **Bild 6-15** ergeben sich bei einem Mehrfamilienhaus (Baujahr 1919-1948, Istzustand 1989, ca. 17 Wohneinheiten, 1349 m² Gesamtwohnfläche, 183,5 kWh/m²a spez. Heizwärmebedarf, 86,6 W/m² spez. Normwärmebedarf). Die Auslastungen bei 20%iger bzw. 100%iger Überdimensionierung sind 21% bzw. 13%.

Der Endenergiebedarf ist bei einem vor 1976 gebauten Kessel um 2,5% und bei einem heutigen Kessel um 0,5% größer.

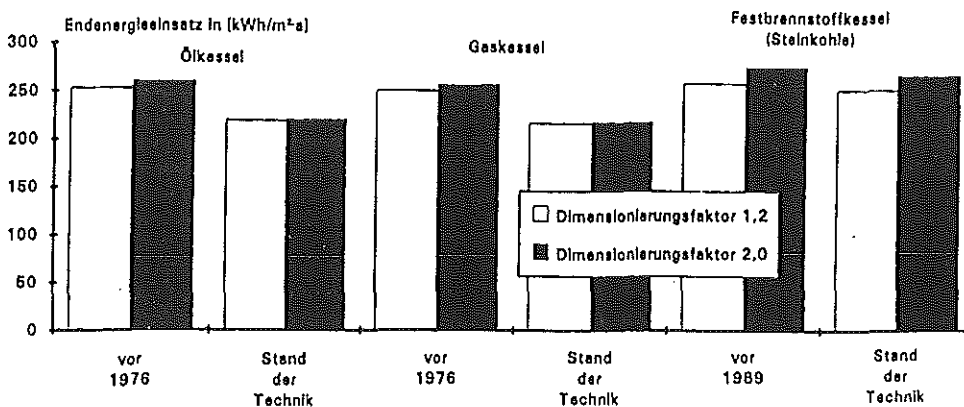


Bild 6-15: Auswirkung der Überdimensionierung von verschiedenen Heizkesseln bei einem Mehrfamilienhaus

Erläuterung zu den in Bild 6-14 und 6-15 betrachteten Heizungsanlagen:

Ölkessel: -Umstell- und Wechselbrandkessel mit Ölzerstäubungsbrenner, Baujahr vor 1976

-Spezialkessel mit Ölzerstäubungsbrenner, Baujahr 1976-1982

-Niedertemperaturkessel mit Ölzerstäubungsbrenner, Baujahr ab 1983

-Niedertemperaturkessel mit Ölzerstäubungsbrenner, Stand der Technik

Gaskessel: -Umstell- und Wechselbrandkessel mit Gasgebläsebrenner, Baujahr vor 1976

-Spezialkessel mit Gasgebläsebrenner, Baujahr 1976-1982

-Niedertemperaturkessel mit Gasgebläsebrenner, Baujahr ab 1983

-Niedertemperaturkessel mit Gasgebläsebrenner, Stand der Technik

-Brennwertkessel mit Gasgebläsebrenner

6.2.2. Verteilungssysteme

Die Verteilung des vom Kessel erwärmten Heizwassers im Gebäude erfolgt über ein Rohrleitungsnetz zu den Heizkörpern, wo die Heizwärme in den Raum abgegeben wird. Man unterscheidet bei der Verteilung Ein- und Zweirohrsysteme, die Einrohrsysteme weiter in senkrechte und waagerechte Rohrführung.

Zweirohrsysteme sind die häufigsten Systeme und sind durch den Anschluß jedes Heizkörpers an eine getrennte Vor- und Rücklaufleitung charakterisiert. Einrohrsysteme werden in Nebenschlußschaltung ausgeführt, mit dem Nachteil, daß das Abstellen einzelner Heizkörper die Wärmeabgabe anderer Heizkörper beeinflussen kann /Recknagel, u.a., 1987/.

In den Bildern 6-16 und -17 werden verschiedene Zweirohrverteilungssysteme mit unterschiedlichen Dämmstandards und Vorlauftemperaturen an drei verschiedenen Einfamilienhäusern bzw. Mehrfamilienhäusern verglichen. /FfE, 1994/ unterscheidet drei Dämmstandards, die mit "niedrig" (übliche Ausführung vor 1982), "mittel" (Heizungsanlagenverordnung HAnlVO 1982) und "hoch" (ca. 1,5-fache Wärmedämmstärke gegenüber HAnlVO 1982) bezeichnet werden und sich durch ihre spezifischen Verluste unterscheiden. Bei diesen Verlusten sind die für die Raumheizung nutzbaren Wärmegewinne bereits saldiert.

Wird bei einem Gebäude nachträglich der wärmetechnische Standard verbessert, die Heizungsanlage jedoch baulich nicht verändert, ergibt sich trotzdem aufgrund des geringeren Wärmebedarfs des Gebäudes eine geringere Temperaturpaarung für das Heizsystem und somit sinken auch die Verteilungsverluste.

| Temp.-paarung: | Einfamilienhaus 80 - 250 m ² Wfl. | | | Mehrfamilienhaus 300 - 10.000 m ² Wfl. | | |
|----------------|---|------------------------|------------------------|--|------------------------|------------------------|
| | 90/70 | 70/50 | 55/40 | 90/70 | 70/50 | 55/40 |
| Standard | [kWh/m ² a] | [kWh/m ² a] | [kWh/m ² a] | [kWh/m ² a] | [kWh/m ² a] | [kWh/m ² a] |
| niedrig | 26,4 | 21,1 | 14,6 | 11,9 | 9,4 | 6,4 |
| mittel | 12,5 | 10,0 | 6,9 | 5,6 | 4,4 | 3,0 |
| hoch | 10,4 | 8,3 | 5,8 | 4,7 | 3,7 | 2,5 |

Tabelle 6-16: Verteilungsverluste (Netto) von Zweirohr-Heizungsverteilungen für unterschiedliche Dämmstandards und Temperaturpaarungen /FfE, 1994/

Die absolute Energieeinsparung durch einen höheren Verteilungsstandard (bessere Wärmedämmung) ist bei gleicher Auslegungstemperatur nahezu unabhängig vom wärmetechnischen Standard des Gebäudes, d.h. bei Gebäuden mit niedrigerem spezifischen Nutzwärmebedarf ist die Einsparung bezogen auf den Jahresendenergiebedarf prozentual größer. Die erreichbare Minderung des Energiebedarfs durch Isolierung des Rohrsystems erreicht mit zunehmender Dämmstärke eine Sättigungsgrenze.

Es lassen sich durch alleinige Dämmung der Heizungsrohre Endenergieeinsparungen zwischen 5% und 10 % pro Jahr bei den untersuchten Einfamilienhäusern erzielen. Die Bandbreite bei Mehrfamilienhäusern erstreckt sich hier von 2% bis 13%, je nach Temperaturpaarung des Heizsystems und angestrebtem Standard.

Die spezifischen Investitionen nehmen mit steigender Wohnfläche ab und sind bei Mehrfamilienhäusern niedriger als bei Einfamilienhäusern. Insgesamt ist der Anstieg der Investitionen deutlich höher als die prozentuale Energieeinsparung. Aussagekräftiger im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit einer Maßnahme ist die Berechnung der Kosten je eingesparter Kilowattstunde (**Bild 6-18**). Dazu werden die einmaligen Investitionskosten gleichmäßig auf die Abschreibungszeit bzw. die angenommene Lebensdauer von 30 Jahren (VDI 2067) nach der statischen Annuitätenmethode (Zinssatz 8%) verteilt. Nach **Bild 6-18** ist die Einsparung bei den Einfamilienhäusern im Vergleich zu den Mehrfamilienhäusern etwas günstiger zu erzielen. Außerdem sind die Verbesserungsmaßnahmen bei einer Temperaturpaarung von 55 °C/40 °C beachtlich teurer als bei 90 °C Vorlauf- und 70 °C Rücklauftemperatur.

Bezogen auf den Heizwert von Heizöl (1 l Heizöl EL = 10 kWh) kostet die Kilowattstunde Heizöl derzeit ca. 4 Pf (Erdgas ca. 5 Pf). Auch für den günstigsten Fall in **Bild 6-18** mit 27 Pf je eingesparte Kilowattstunde ist eine Sanierung der Verteilungsrohre im Altbau nicht als wirtschaftlich zu bezeichnen.

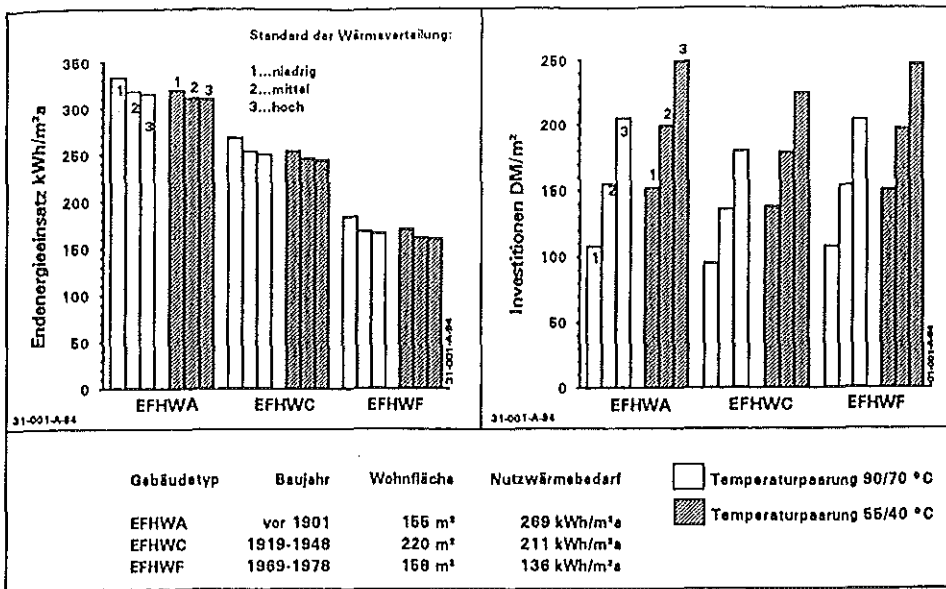


Bild 6-16: Einfluß von Temperaturpaarung und Standard der Wärmeverteilung (Zweirohrsystem) auf Endenergieeinsatz und Gesamtinvestitionen bei verschiedenen Einfamilienhäusern

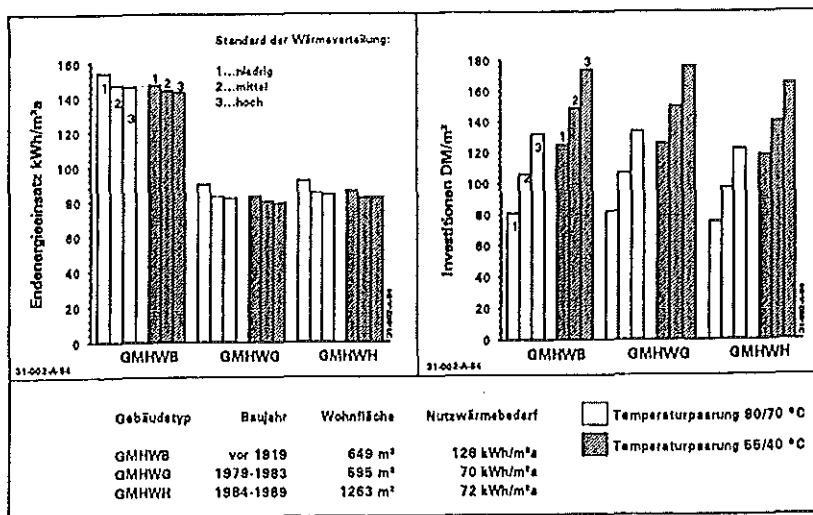


Bild 6-17: Einfluß von Temperaturpaarung und Standard der Wärmeverteilung (Zweirohrsystem) auf Endenergieeinsatz und Gesamtinvestitionen bei verschiedenen Mehrfamilienhäusern

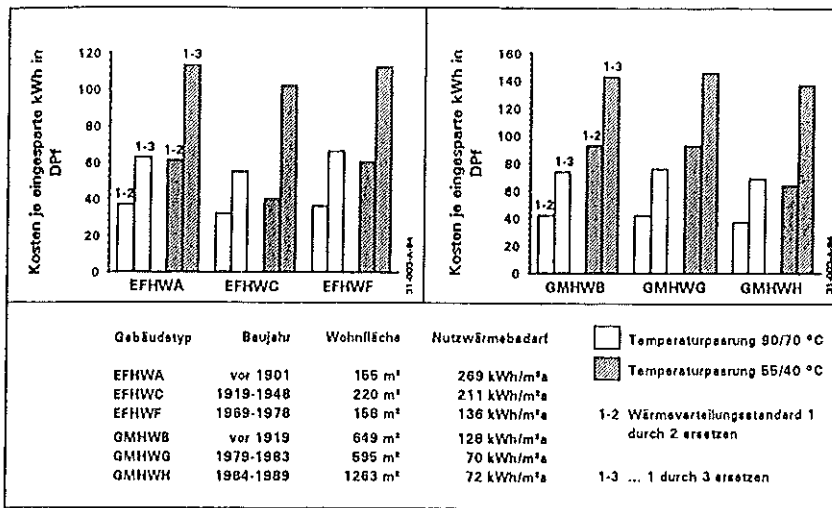


Bild 6-18: Zusatzkosten je eingesparter Kilowattstunde für eine Wärmeverteilung höheren Standards gegenüber niedrigem Standard bei Ein- und Mehrfamilienhäusern

Bei Neubauten mit Neuinstallation der Heizungsverteilung ist die Installation einer Verteilung mit höherem Standard zu empfehlen, da bei neuen Gebäuden mit entsprechend niedrigem Heizwärmebedarf die Verteilungsverluste einen größeren Anteil an den Gesamtverlusten haben und zudem die Zusatzinvestitionen für eine solche Maßnahme geringer ist als bei der Sanierung eines Verteilungssystems.

Ein Vergleich der verschiedenen Verteilungssysteme (**Bilder 6-19 und -20**) zeigt, daß die Zweirohr- sowie die senkrechten und waagrechten Einrohrsysteme ungefähr gleiche Verluste haben, wohingegen die Fußbodenheizung etwas besser abschneidet. Senkrechte Einrohrsysteme kommen vor allem in den neuen Bundesländern zum Einsatz. Im Hinblick auf die Gesamtkosten schneiden die Einrohrsysteme waagrecht am besten ab. Das Fußbodensystem ist am kostenintensivsten. Zweirohrsysteme haben gegenüber Einrohrsystemen den Vorteil, daß die Vorlauftemperatur an jedem Heizkörper gleich ist und daher eine bessere Regelbarkeit gegeben ist. Fußbodenheizungen eignen sich besonders für Niedertemperaturwärmeerzeuger, da aufgrund der großen Heizfläche eine geringere Vorlauftemperatur zur Beheizung ausreicht.

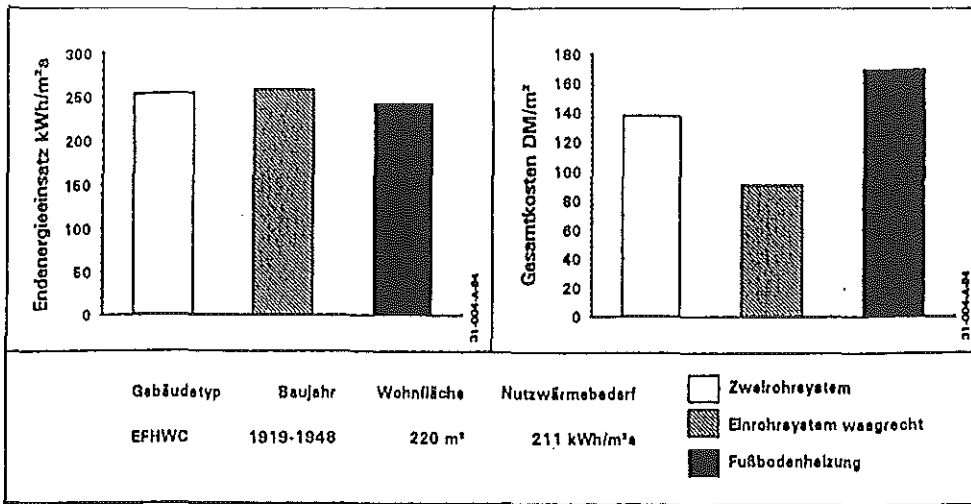


Bild 6-19: Einfluß des Verteilungssystems auf den Endenergiebedarf bei einem Einfamilienhaus und Gesamtinvestitionen für die verschiedenen Systeme

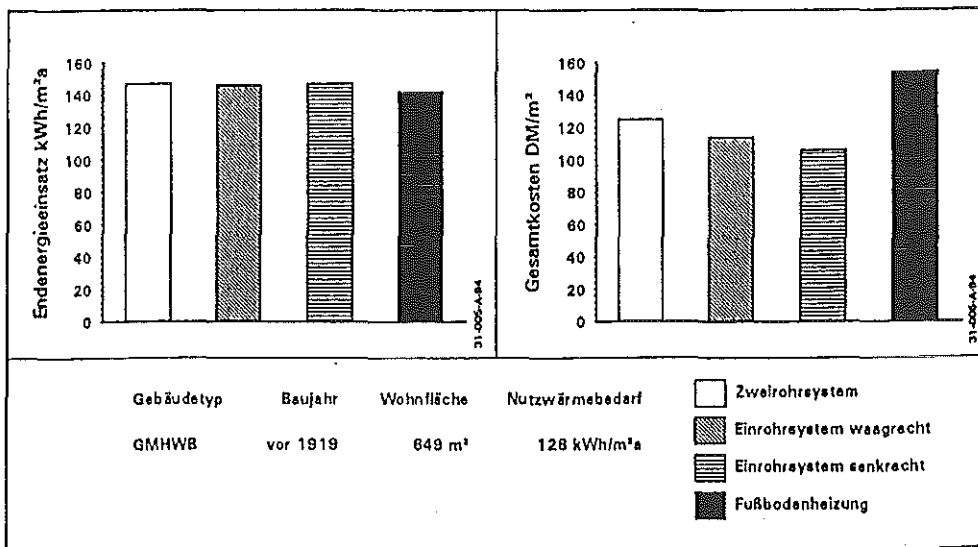


Bild 6-20: Einfluß des Verteilungssystems auf den Endenergiebedarf bei einem Mehrfamilienhaus und Gesamtinvestitionen für die verschiedenen Systeme

6.2.3. Quervergleich konventioneller, zentraler Wärmeerzeuger

In /FfE, 1993a/ werden folgende Kesselarten für Öl- und Gas-Zentralheizungen unterschieden:

- Umstell- und Wechselbrandkessel, Baujahr vor 1976
- Spezialkessel, Baujahr 1976-1982
- Niedertemperaturkessel, Baujahr ab 1983
- Niedertemperaturkessel, Stand der Technik
- Brennwertkessel, Stand der Technik

Der Endenergiebedarf und die Wärmeerzeugernutzungsgrade (ohne Warmwasserbereitung, ohne Verteilungsnutzungsgrad) der genannten Kessel werden zum Vergleich für zwei Ein- (Bild 6-21) und zwei Mehrfamilienhäuser (Bild 6-22), jeweils mit hohem und niedrigem Heizwärmebedarf, ermittelt.

Es zeigt sich in der Entwicklung in Richtung neuerer Technologien eine bedeutende Verminderung im Brennstoffbedarf, verursacht durch eine Verbesserung der Nutzungsgrade um bis zu 28% bei kleinen Kesseln und 24% bei großen Kesseln. Diese Verbesserung ist zum Teil auch durch die bessere Anpassung der Kesselleistung an den Normwärmebedarf des Gebäudes bei den neueren Kesseln verursacht. Für die Kessel mit Baujahr vor 1982 wird mit einer 80%igen Überdimensionierung, für Kessel mit Baujahr ab 1983 mit einer 30%igen Überdimensionierung gerechnet. Bei heutigen Kesseln wird von ca. 20% zu großen Leistungen ausgegangen, die daher rühren, daß die passende Kesselleistung in der Regel am Markt nicht zur Verfügung steht und die nächst größere eingesetzt werden muß. Der Einfluß der Dimensionierung wird in Kapitel 6.2.1 im Detail betrachtet.

Der Vorteil der geringeren Abgas- und Bereitschaftsverluste auf Grund der niedrigen Kesselwassertemperaturen der Niedertemperaturkessel wirkt sich insbesondere bei Kesseln kleiner Leistung aus, die nahezu die gleichen Nutzungsgrade erreichen wie die Kessel mit großen Leistungen.

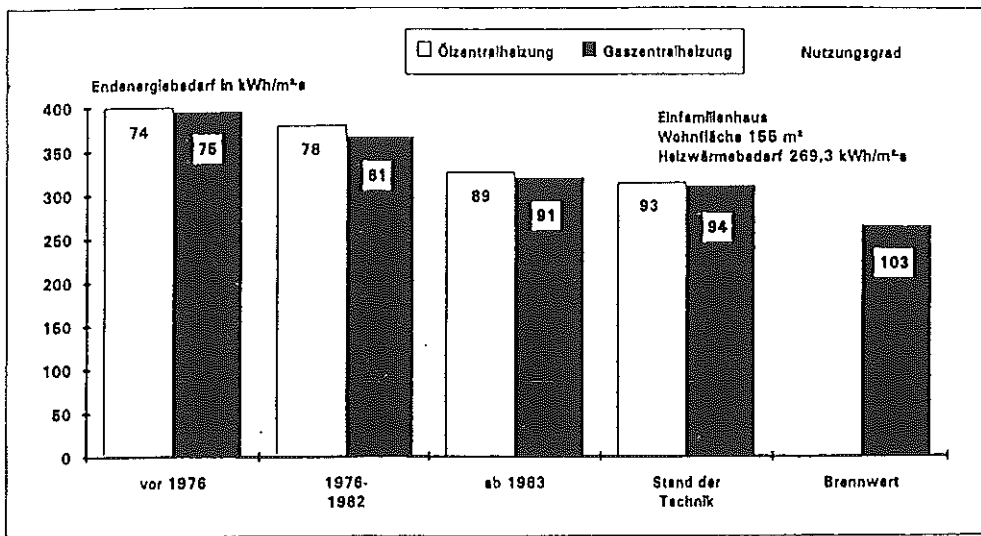


Bild 6-21a: Endenergiebedarf und Nutzungsgrade von Öl- und Gas-Zentralheizungen verschiedener Kesseltypen bei einem Einfamilienhaus Bj. bis 1970

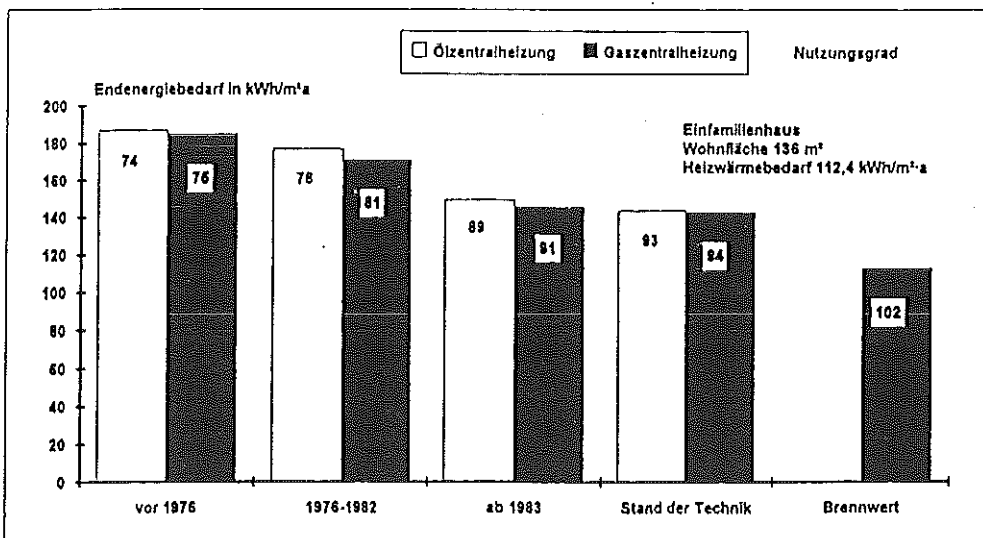


Bild 6-21b: Endenergiebedarf und Nutzungsgrade von Öl- und Gas-Zentralheizungen verschiedener Kesseltypen bei einem Einfamilienhaus Bj. 1983-1984

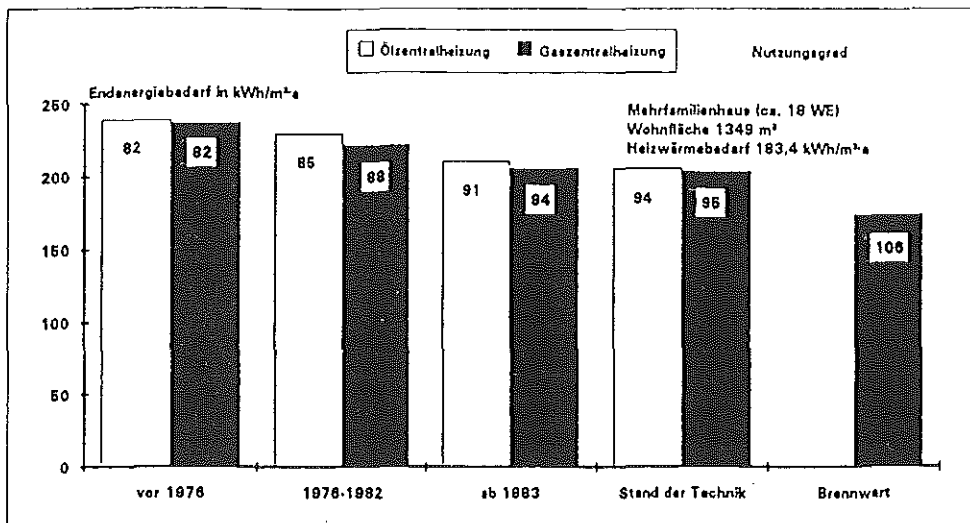


Bild 6-22a: Endenergiebedarf und Nutzungsgrade von Öl- und Gas-Zentralheizungen verschiedener Kesseltypen bei einem Mehrfamilienhaus Bj. 1919-1948

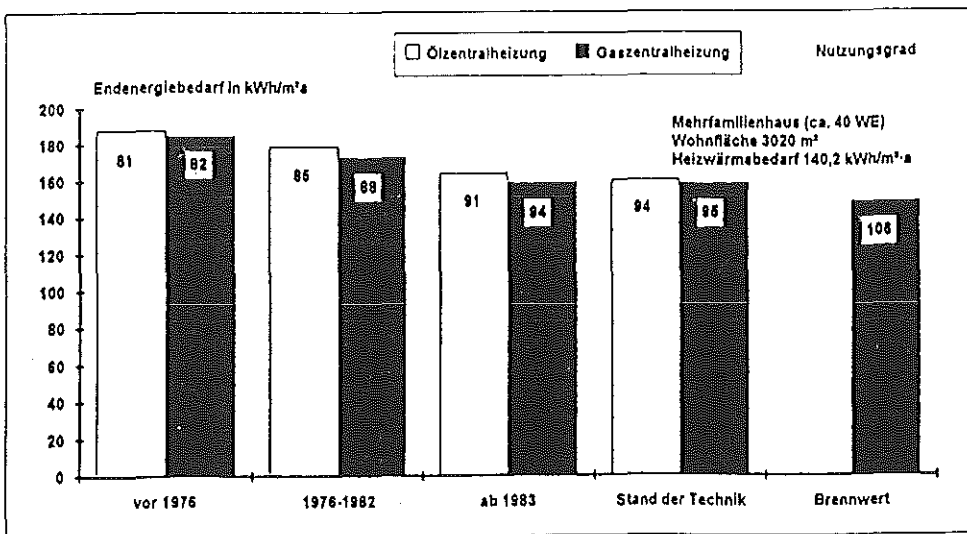


Bild 6-22b: Endenergiebedarf und Nutzungsgrade von Öl- und Gas-Zentralheizungen verschiedener Kesseltypen bei einem Mehrfamilienhaus Bj. 1969-1977

In den **Bildern 6-23a und b** sind die CO_2 -Emissionen, die am Standort des Wärmeerzeugers entstehen - d.h. ohne die Emissionen, die bei der Exploitation, der Förderung, dem Transport und der Umwandlung anfallen-, für einen kleinen und einen großen Kessel dargestellt (Einfamilienhaus - Mehrfamilienhaus). Bei Erdgas als Brennstoff sind die CO_2 -Emissionen aufgrund des geringeren Kohlendioxidgehalts von Gas um ca. 25% niedriger als bei Heizöl. Ein Vergleich des Schadstoffausstosses (Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe) eines kleinen Kessels (10 - 80 kW) ist in **Bild 6-24** zusammengestellt. Die Werte von Schwefeldioxid sind wie die CO_2 -Emissionen brennstoffabhängig und entstehen nur bei Heizöl.

Von der ältesten zur neuesten Technologie sinken die Emissionen aller angegebenen Schadgase deutlich.

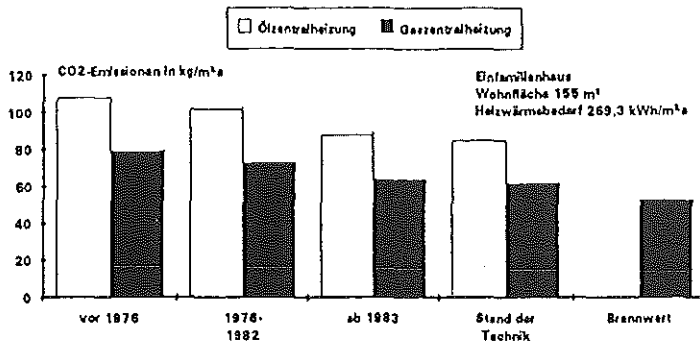


Bild 6-23a: CO_2 -Emissionen von Öl- und Gas-Zentralheizungen bei verschiedenen Kesseltypen (Einfamilienhaus Bj. bis 1900)

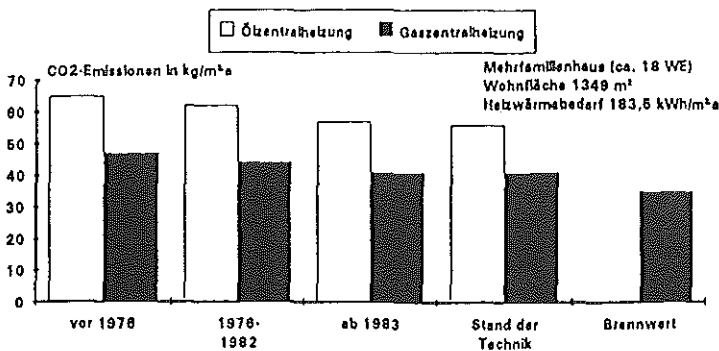


Bild 6-23b: CO_2 -Emissionen von Öl- und Gas-Zentralheizungen bei verschiedenen Kesseltypen (Mehrfamilienhaus Bj. 1969-1977)

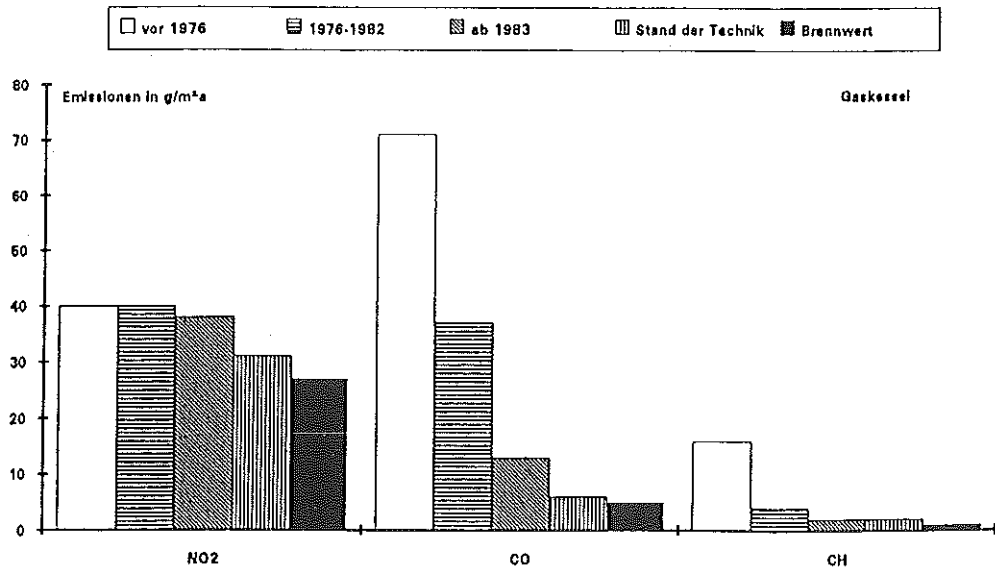
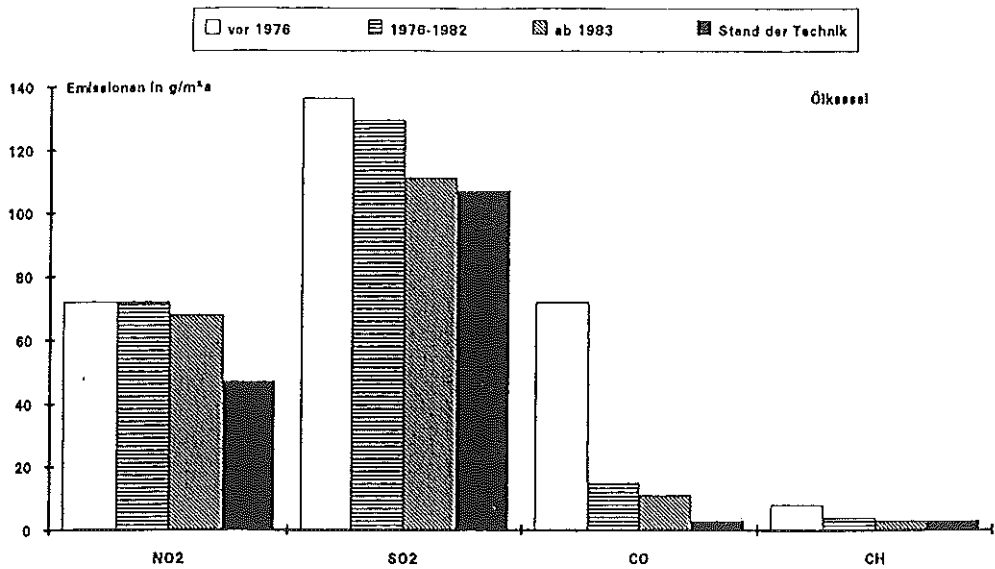


Bild 6-24: Emissionen von Öl- und Gaszentralheizungen, Einfamilienhaus Bj. bis 1900

6.2.4. Quervergleich konventioneller und nichtkonventioneller Wärmeerzeuger

6.2.4.1. Jahresenergieverbrauch

Für ein ausgewähltes Ein- und ein Mehrfamilienhaus sind in **Bild 6-25** und **Bild 6-27** die pro Jahr und Quadratmeter Wohnfläche benötigten Endenergiemengen für Raumheizung von verschiedenen Wärmeerzeugern aufgetragen. Desweiteren wird die benötigte Hilfsenergie für die Steuerung und Regelung sowie weitere Aggregate wie Brennergebläse u.ä. aufgeführt.

Für die Vorlauftemperatur wird bei diesen Berechnungen für Brennwertkessel, Wärmepumpen und Blockheizkraftwerke zum Vergleich 40 °C zugrundegelegt, ansonsten 70 °C. Beim BHKW kann alternativ auch 70 °C gewählt werden.

Den höchsten Bedarf an Endenergie weisen die Kohle-Heizungen und der Öl-Einzelofen auf, obwohl bei diesen Systemen von einem wesentlich geringeren Beheizungsumfang ausgegangen wurde. Mit Abstand am günstigsten sind - zumindestens endenergetisch betrachtet - die Wärmepumpen. Bei primärenergetischer Betrachtung ist der Abstand zu den anderen Systemen nicht mehr so groß, aber immer noch vorhanden. Bei den konventionellen Heizungen zeichnen sich der Gas-Brennwertkessel und die Fernwärmeheizung durch einen geringen Energiebedarf aus. Bei Mehrfamilienhäusern stellt die Etagenheizung eine günstige Variante dar, die gerade bei Altbausanierungen eine gute Alternative als Ersatz von Einzelöfen sein kann.

Vergleicht man die Ergebnisse mit /Heizkostenvergleich, 1990/ (Bild 11 und 12), so stellt man tendenziell die gleiche energetische Rangfolge der Wärmeerzeuger fest.

In **Bild 6-26** ist der Primärenergieaufwand für die Wärmeerzeugung in einem Einfamilienhaus dargestellt. Die Energieträger wurden mit folgenden Faktoren (Endenergie/Primärenergie) auf Primärenergie umgerechnet /Schaefer, 1980/:

| | | |
|-----------|------|--------------------------|
| Heizöl | 0,91 | /Schaefer, 1980/ (S. 66) |
| Erdgas | 0,87 | /Schaefer, 1980/ (S. 67) |
| Kohle | 0,89 | /Schaefer, 1980/ (S. 68) |
| Strom | 0,34 | /Schaefer, 1980/ (S. 61) |
| Fernwärme | 0,81 | /Geiger, u.a., 1982/ |

Die Elektro-Einzelspeicher haben aufgrund von Verlusten bei der Stromerzeugung mit Abstand den höchsten Primärenergiebedarf. Bei der Energieerzeugung in Kondensationskraftwerken sind für eine Einheit elektrischer Energie ca. drei Einheiten Primärenergie aufzuwenden. Im Gegensatz dazu weisen der Gas-Brennwertkessel und die Wärmepumpensysteme den niedrigsten Primärenergiebedarf auf. Auch Fernwärmeheizungen sind bei Verwendung dieser Bereitstellungsnutzungsgrade etwas ungünstiger als Öl- oder Gas-Zentralheizungen.

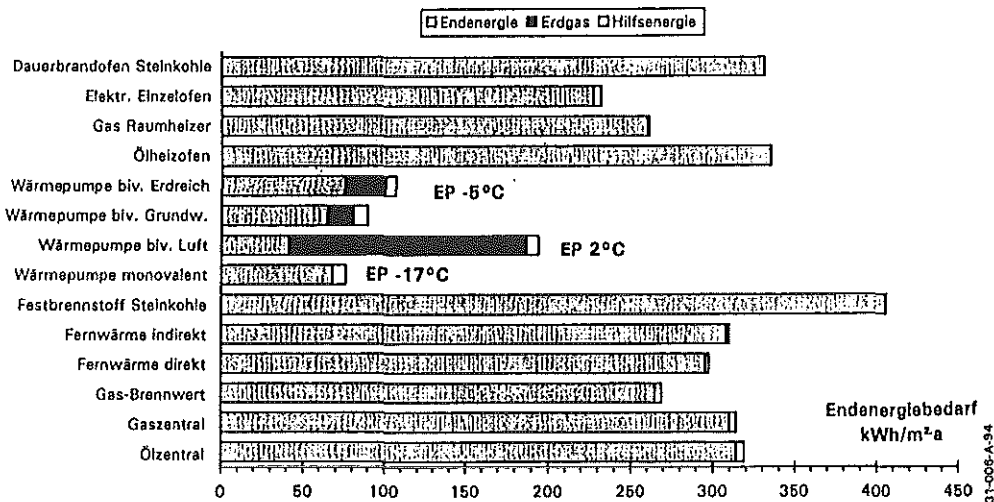


Bild 6-25: Jahresendenergiebedarf zur Beheizung eines Einfamilienhauses (Einfamilienhaus Bj. bis 1900)

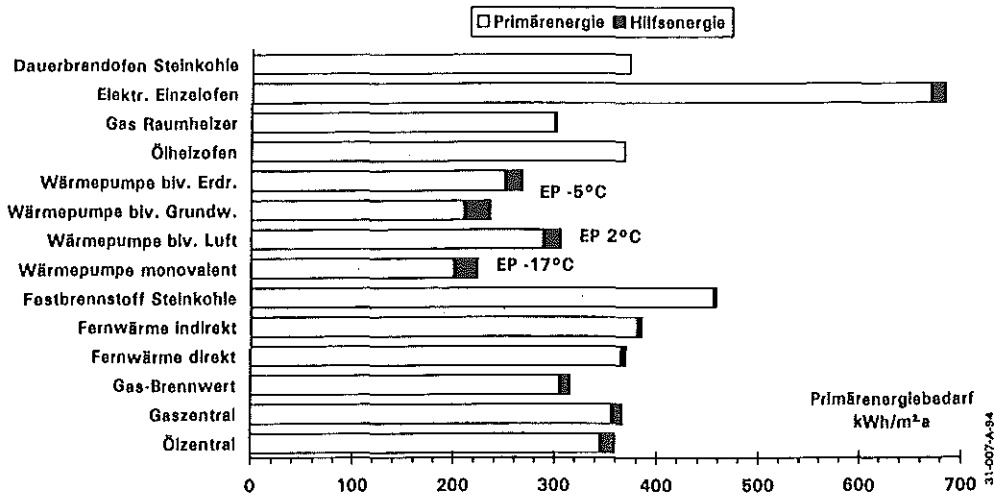


Bild 6-26: Jahresprimärenergieaufwand zur Beheizung eines Einfamilienhauses (Einfamilienhaus Bj. bis 1900)

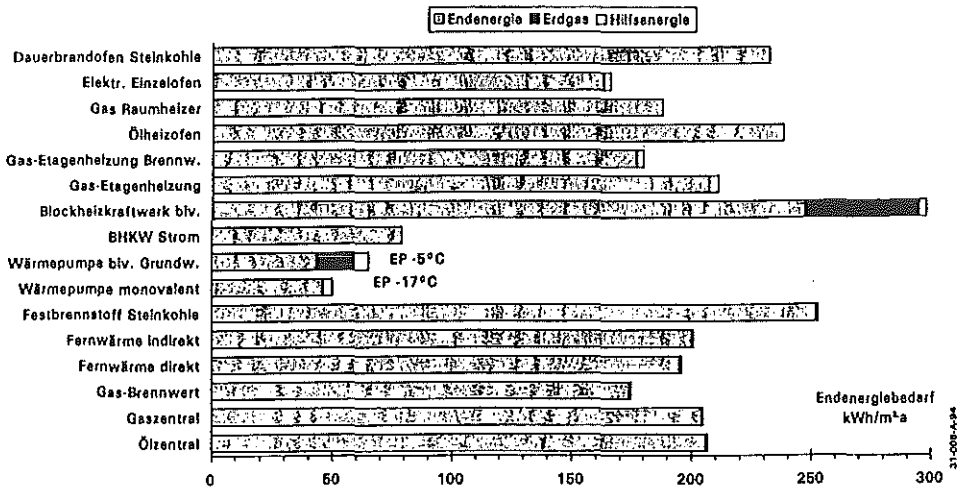


Bild 6-27: Jahresendenergiebedarf zur Beheizung eines Mehrfamilienhauses (Großes Mehrfamilienhaus Bj. 1969-1977)

6.2.4.2. Kohlendioxid Emissionen vor Ort

In den **Bildern 6-28** und **-30** wird der CO₂-Ausstoß (vor Ort) der hier untersuchten Systeme gezeigt. Auf Grund des hohen Kohlenstoffgehalts von Kohle und Heizöl sind Heizungen, die mit diesen Energieträgern befeuert werden, maßgeblich an den Gesamtemissionen beteiligt. Wärmeerzeuger mit Gasfeuerung sind in dieser Hinsicht klimaschonender, insbesondere wenn sie mit Wärmepumpen kombiniert werden.

In Anhang B sind zusätzlich die Emissionen von Stickstoffdioxid, Schwefeldioxid, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen tabellarisch zusammengestellt.

Interessant ist der Vergleich in **Bild 6-29**, bei dem die gesamten CO₂-Emissionen (vor Ort und bei der Umwandlung sowie Exploration anfallende Emissionen) auf die Endenergie bezogen sind. Die Emissionsfaktoren stammen aus /GEMIS, 1992/, wo die vollständigen Prozeßketten bis hin zur Endenergie berücksichtigt werden. Faßt man die Faktoren mit den bereits für das Heizungssystem bekannten Faktoren zusammen, so erhält man die in **Tabelle 6-17** dargestellten Gesamtemissionen:

| Energieträger | Emissionsfaktor CO ₂ [kg/kWh _{Endenergie}] | aus /GEMIS, 1992/ |
|----------------------|--|-------------------|
| Steinkohle | 0,38 | Tabelle 2 |
| Heizöl EL | 0,30 | Tabelle 14 |
| Erdgas | 0,21 | Tabelle 18 |
| Fernwärme | 0,21 | Tabelle 87 |
| Nachtspeicherstrom | 0,97 | Tabelle 43 |
| Elektr. Hilfsenergie | 0,60 | Tabelle 40 |

Tabelle 6-17: CO₂-Emissionsfaktoren unter Berücksichtigung der gesamten vor Ort und bei Umwandlung sowie Exploration anfallenden Emissionen

Auffallend hoch ist der Anteil der CO₂-Emissionen bei elektrischen Nachtspeicherheizungen. Dies hat seinen Hintergrund darin, daß in /GEMIS, 1992/ unterstellt wird, daß Nachtstrom

vorwiegend von Steinkohle-Kraftwerken als Mittellast-Anlagen bereitgestellt wird. Der Direktstrom für Wärmepumpen sowie Hilfsaggregate wird danach aus der Grundlast mit dem bekannten Energieträgermix Steinkohle, Braunkohle, Erdgas, Öl, Kernenergie und Wasserkraft bereitgestellt. Für die Fernwärme wird die überwiegende Erzeugung in gasbefeuerten Heizkraftwerken angenommen, wodurch sich der geringe Emissionsfaktor erklärt.

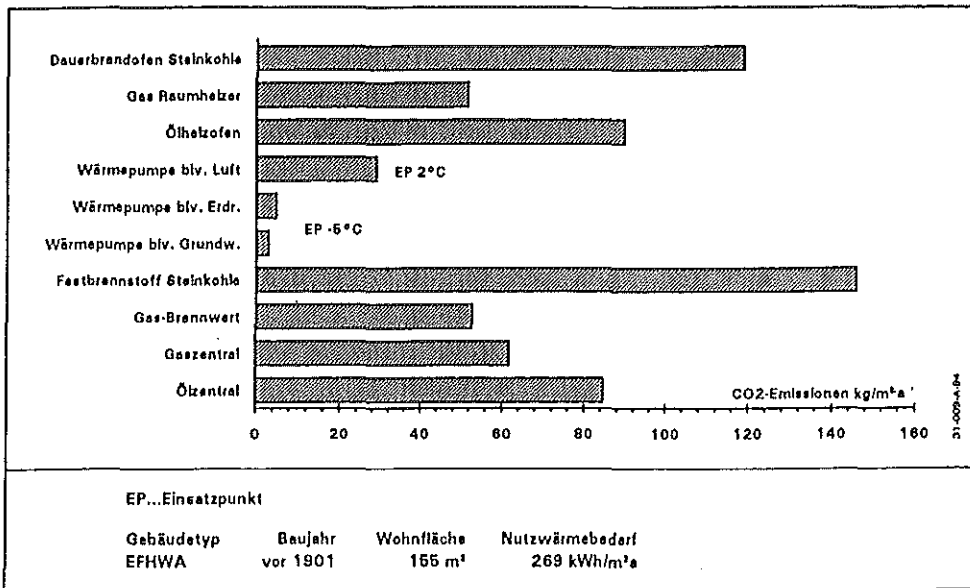


Bild 6-28: CO₂-Emissionen bei Beheizung eines Einfamilienhauses (Bj. bis 1900)

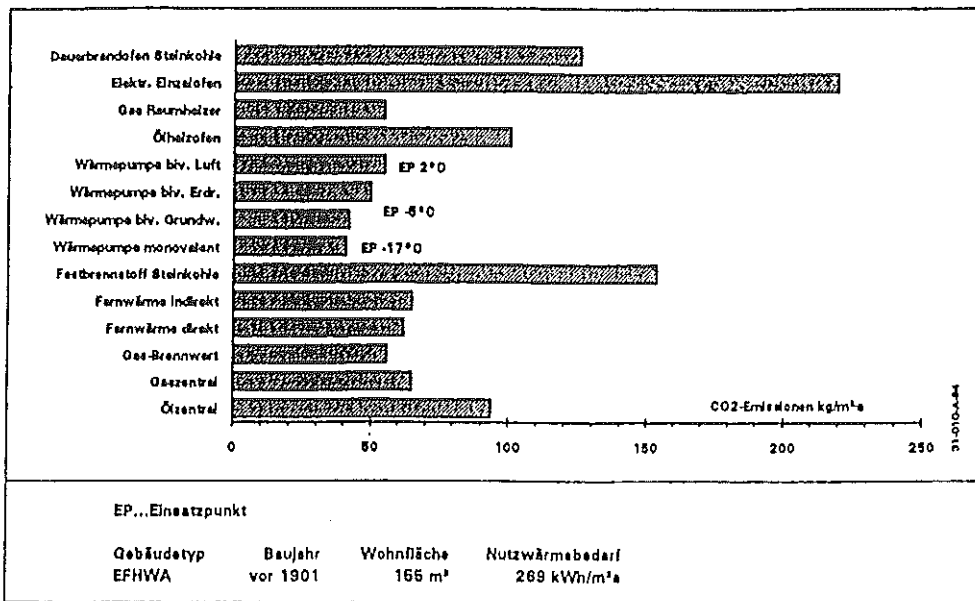


Bild 6-29: CO₂-Emissionen bezogen auf Primärenergie bei Beheizung eines Einfamilienhauses (Bj. bis 1900)

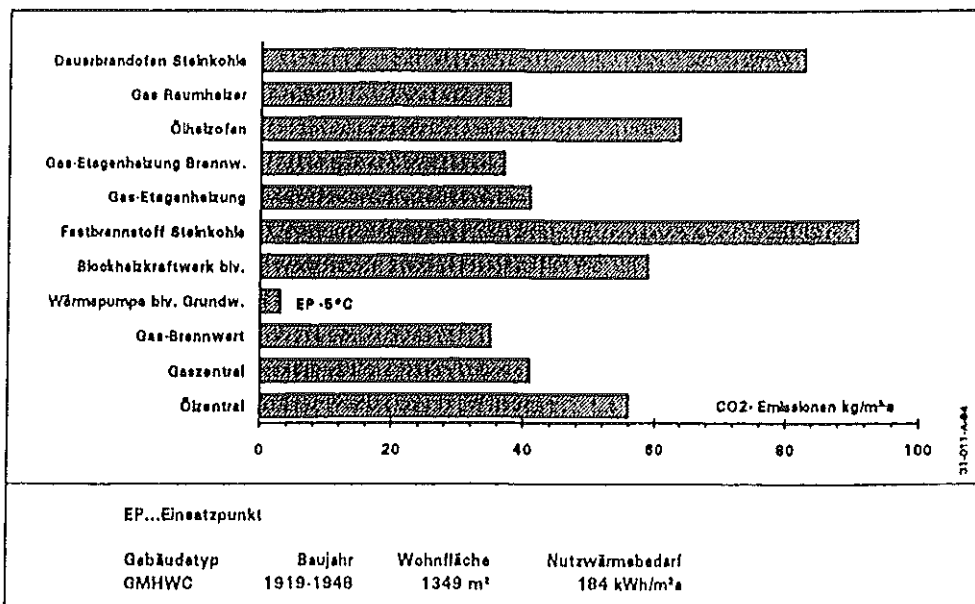


Bild 6-30: CO₂-Emissionen bei Beheizung eines Mehrfamilienhauses (Bj. 1969 - 1977)

6.2.4.3. Investitionen und Kapitalkosten für die Raumheizung

Die hier dargestellten Investitionen für Wärmeerzeuger basieren auf Herstellerangaben (Preisstand 1989), die von /FfE, 1993a/ im Rahmen von Marktumfragen erhoben wurden. In den Investitionen ist der Preis des Einzelgeräts einschließlich Regelung, die Kosten für Montage und Zusatzteile, gegebenenfalls der Öltank, die Anschlußkosten für Gas, Fernwärme oder Niedertarifstrom, gegebenenfalls die Kaminanbindung, sowie alle weiteren Kosten, die bei der Inbetriebnahme der Anlage anfallen, enthalten.

Desweiteren werden die baulichen Investitionen angegeben, die im wesentlichen die Investitionen für den umbauten Raum, der durch den Kessel bzw. den Wärmeerzeuger, die Brennstofflagerung und die weiteren erforderlichen Zubehöriteile in Anspruch genommen wird, umfassen. Auch die Investitionen für die Kaminanlage sind hierbei berücksichtigt.

Die Aufwendungen für die Wärmeverteilung berücksichtigen die Investitionskosten für Rohre, Armaturen und Heizflächen einschließlich Montageaufwand /FfE, 1994/.

In den Bildern 6-31 und -32 sind den Gesamtinvestitionen jeweils die jährlichen Kapitalkosten gegenübergestellt. Mit Hilfe der statischen Annuitätenmethode wird bei letzteren die einmalige Investition auf die angenommene Abschreibungszeit, d.h. die Lebensdauer, verteilt, wobei ein 8%iger Zinssatz zugrundegelegt ist. Für die Wärmeverteilung und die baulichen Maßnahmen wird die Lebensdauer nach VDI 2067 zu 30 Jahren festgelegt. Die Lebensdauer der Wärmeerzeuger ist in /FfE, 1993a/ angegeben.

Der Vergleich zeigt, daß die Wärmepumpen mit Gesamtkosten zwischen 340 DM/m² und 480 DM/m² die teuersten Heizsysteme sind. Mit ca. 45 DM/m² sind die Investitionen für Einzelöfen (Kohle oder Öl) deutlich günstiger. Hierbei muß man allerdings beachten, daß dezentrale Systeme in der Regel nicht den gleichen Komfort bieten können wie zentrale Systeme. Im mittleren Bereich liegt der zentrale Gaskessel mit ca. 230 DM/m².

Bei den Verteilungssystemen fällt auf, daß die Fußbodenheizung (ca. 175 DM/m²), die bei Niedertemperatursystemen wie Brennwertkesseln oder Wärmepumpen eingesetzt wird, kostenmäßig über der Zweirohrverteilung (ca. 140 DM/m²) liegt. Bei der Entscheidung für das eine oder andere System sind jedoch bei der Fußbodenheizung die geringeren Verluste von Verteilung und Wärmeerzeuger aufgrund der niedrigeren Vorlauftemperatur mit einzubeziehen.

Wegen der im Vergleich kürzeren Lebensdauer (ca. 15 Jahre) von Wärmepumpen heben sich

diese Systeme bei Betrachtung der Kapitalkosten noch weiter von den übrigen ab. Die Lebensdauer der Kesselanlagen liegt bei 20 Jahren /FfE, 1993a/.

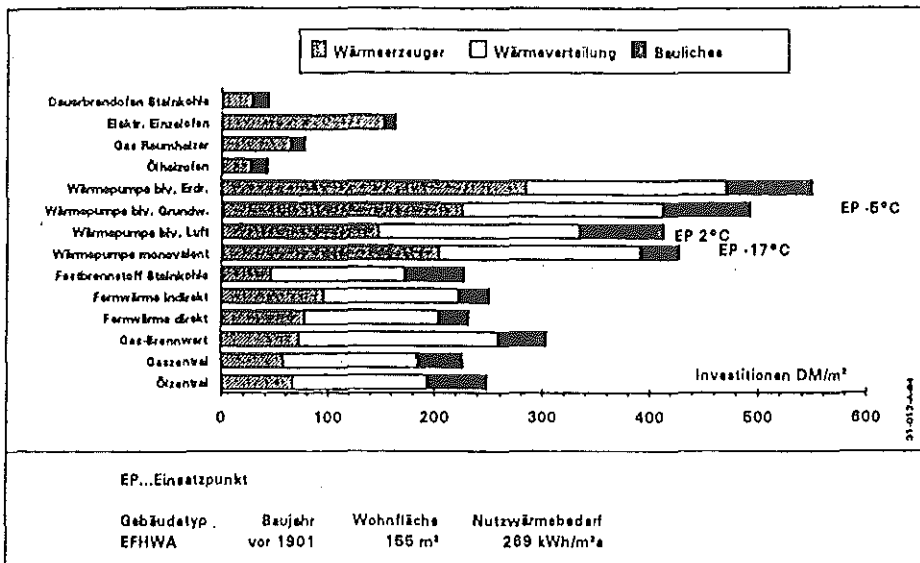


Bild 6-31a: Investitionen für die Heizungsanlage in einem Einfamilienhaus (Bj. bis 1900)

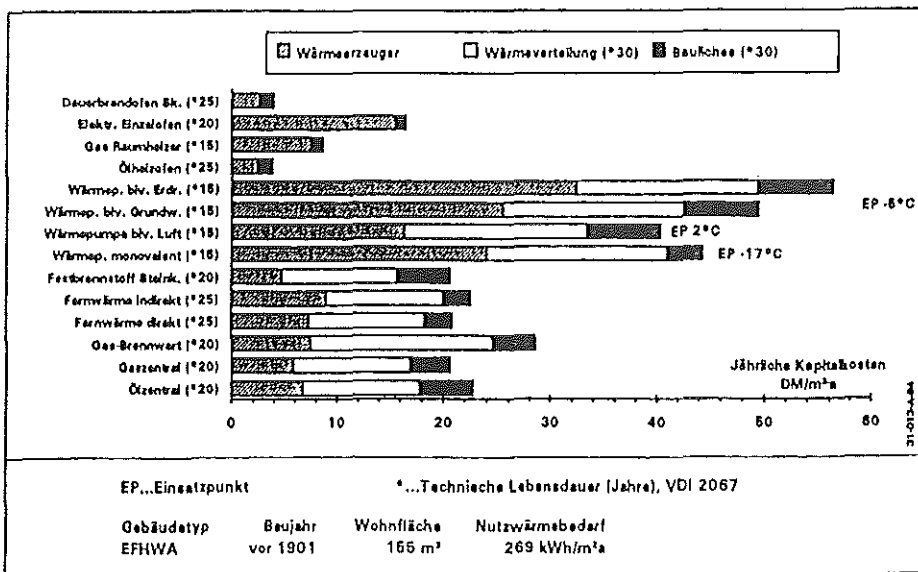


Bild 6-31b: Jährliche Kapitalkosten für Heizungsanlagen in einem Einfamilienhaus (Bj. bis 1900)

Fernwärme (mit direkter Wärmeübergabe) und Gas-Zentralheizungen sind dagegen bezogen auf die Abschreibungszeit mit ca. 21 DM/m²a die günstigste Lösung bei zentraler Versorgung. Auch Brennwertkessel sind mit ca. 29 DM/m²a eine preiswerte Alternative, die vor allem wegen des niedrigen Energieverbrauchs zu empfehlen ist. Bei letzterem ist natürlich durch entsprechend niedrige Vorlauftemperaturen sicherzustellen, daß die Brennwertnutzung auch eintritt. Bei zu hohen Temperaturen arbeitet der Brennwertkessel wie ein normaler Kessel, wodurch sich die höheren Kosten nicht amortisieren können!

Bei Mehrfamilienhäusern sind tendenziell die gleichen Verhältnisse zu erkennen (Bild 6-32a und b). Es ergeben sich jedoch aufgrund zunehmender Gebäudegröße niedrigere spezifische Investitionen als bei Ein- oder Zweifamilienhäusern.

Die zentralen Heizungen sind mit Gesamtinvestitionen von 115 DM/m² bis 125 DM/m² zu veranschlagen. Etagenheizungen sind demgegenüber mit 130 DM/m² bis 200 DM/m² anzusetzen. Mit rund 90 DM/m² hat die Wärmeverteilung den größten Anteil an den Gesamtinvestitionen bei zentralen Systemen, wodurch die Einzelheizungen, die keine Verteilung aufweisen, begünstigt werden. Diese markieren mit ca. 26 DM/m² (Ölofen) bis ca. 95 DM/m² (Nachtspeicherheizung) den unteren Bereich der Skala.

Blockheizkraftwerke sind mit ca. 230 DM/m² die teuerste Möglichkeit der Wärmeerzeugung. Allerdings ist hierbei die Einspeisevergütung bzw. die Stromkosteneinsparung bei Eigenverbrauch für den Strom, der ins Netz eingespeist wird, nicht berücksichtigt!

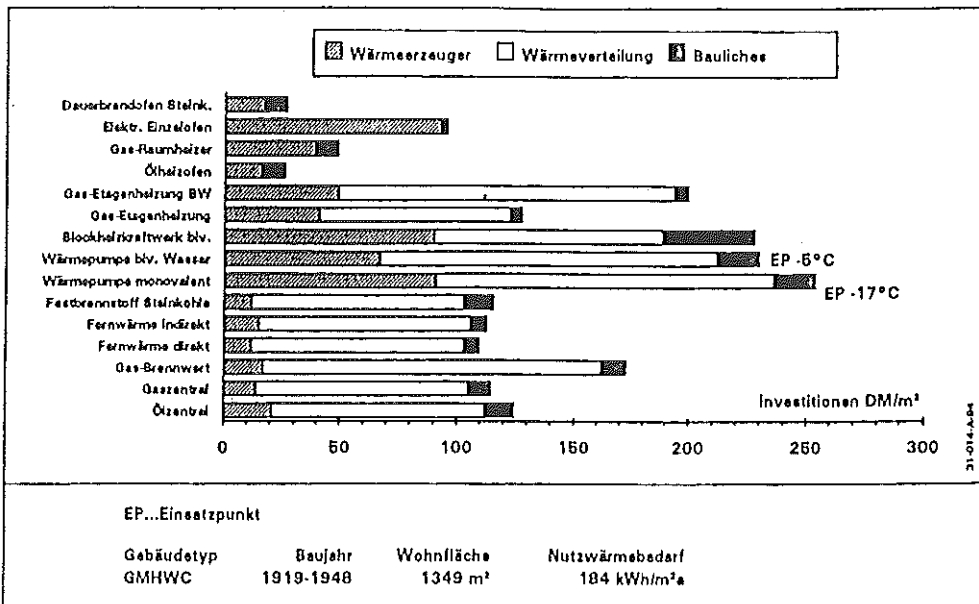


Bild 6-32a: Investitionen für eine Heizungsanlage in einem großen Mehrfamilienhaus (Bj. 1969-1977) Ohne Berücksichtigung der Einspeisevergütung bei Blockheizkraftwerken

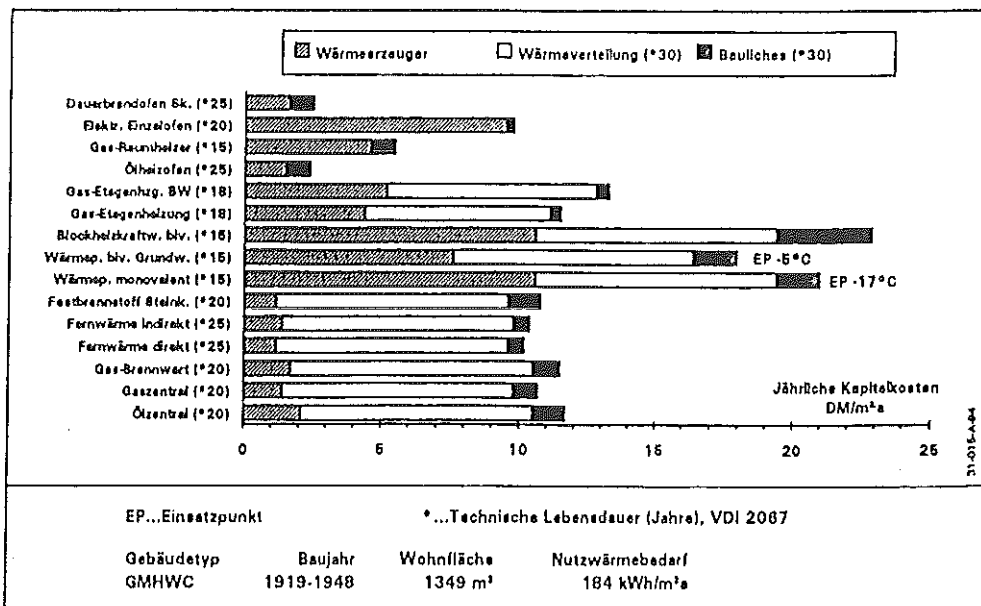


Bild 6-32b: Jährliche Kapitalkosten für die Heizungsanlage in einem Mehrfamilienhaus (Bj. 1969-1977) Ohne Berücksichtigung der Einspeisevergütung bei Blockheizkraftwerken

6.2.5. Alternativen zur Braunkohleheizung in den neuen Bundesländern

In den neuen Bundesländern wurden 1989 noch ca. 80% des Heizenergie- und immerhin ca. 22% des Warmwasserbedarfs durch Braunkohle gedeckt, wobei knapp 1/3 des Heizenergiebedarfs zentral und der Rest dezentral erzeugt wird.

Da die Verbrennung von Braunkohle enorme Umweltauswirkungen hat und auch ihr Heizwert weit hinter dem anderer Energieträger zurückbleibt, müssen gerade hier sinnvolle und kostengünstige Alternativen gefunden werden.

Es werden daher folgende Heizsysteme untersucht:

- Monovalente Elektrowärmepumpe
- Gaszentralheizung mit solarer Warmwassererzeugung
- Ölzentralheizung mit solarer Warmwassererzeugung
- Absorptionswärmepumpe (Gas) mit Gaskessel zur Spitzenlastdeckung
- Kompressionswärmepumpe (Strom) mit Gaskessel zur Spitzenlastdeckung
- Kompressionswärmepumpe (Strom) mit Ölkessel zur Spitzenlastdeckung
- Elektrische Nachtspeicherheizung in Kombination mit einem Elektrodurchlauferhitzer zur Warmwassererzeugung
- Steinkohlezentralheizung bzw. -einzelofen entsprechend dem Stand der Technik
- Braunkohlezentralheizung bzw. -einzelofen entsprechend dem Stand der Technik
- Heizung mit Fernwärme (direkte Wärmeübergabe)
- Niedertemperaturölzentralheizung
- Gaszentralheizung mit Brennwertnutzung
- Gasetagenheizung
- Gaseinzelofen in Kombination mit einem Gasdurchlauferhitzer zur Warmwassererzeugung

Bei dem Vergleich ist davon ausgegangen worden, daß neue Systeme nicht mehr um ca. 80% überdimensioniert sind, sondern lediglich um ca. 20%, verursacht vor allem dadurch, daß nicht alle Kesselleistungsgrößen wie benötigt am Markt vorhanden sind, sondern daß die Leistung in diskreten Schritten angeboten wird. Desweiteren wird ein Rückgang der Temperaturpaarung von 90°C/70°C auf 70°C/50°C angenommen.

Bei Betrachtung des Einsparpotentials (**Bild 6-33**) ist durchgängig festzustellen, daß bei

Ablösung der zentralen Braunkohleheizung prozentual immer mehr Energie eingespart werden kann als bei Ablösung der dezentralen Braunkohleheizung. Dies hat seine Ursache in der Teilbeheizung bei dezentralen Systemen. Bei Erneuerung des Braunkohleeinzelofens durch ein zentrales System nimmt die beheizte Fläche in der Regel zu, so daß aufgrund dieses Komfortzuwachses die Ablösung zentraler Systeme günstiger erscheint. Bei Ersatz der Braunkohlezentralheizung durch ein dezentrales System wird allein schon durch die Verringerung des Beheizungsumfangs Energie eingespart. Aufgrund des Komfortverlustes wird diese Möglichkeit jedoch selten gewählt. Weiterhin sind die Einsparungen bei Mehrfamilienhäusern um ca. 5-10% größer als bei Ein- und Zweifamilienhäusern.

Das größte Einsparpotential von ca. 90% des ursprünglichen Endenergiebedarfs bietet die monovalente Elektrowärmepumpe gefolgt von bivalenten Wärmepumpenanlagen. Unter den Wärmepumpen schneidet bezüglich der Endenergieeinsparung die Absorptionswärmepumpe am schlechtesten ab und liegt gleichauf mit der elektrischen Nachtspeicherheizung. Entsprechend groß (95%) ist das CO₂-Minderungspotential (vor Ort) bei Einsatz einer Wärmepumpe in Kombination mit einem Gaskessel. Bei den elektrischen Systemen ist allerdings zu beachten, daß bei primärenergetischem Vergleich, der hier aufgezeigte Vorsprung aufgrund der Verluste bei der Stromerzeugung drastisch schrumpft. Für einen korrekten Vergleich müssen auch die kraftwerksseitigen Emissionen beachtet werden.

Nur geringe Einsparpotentiale zwischen ca. 0% und ca. 10% bietet der Austausch alter Kohleheizungen durch moderne Kohleheizungen. Auch eine solare Warmwassererzeugung hat nur unwesentliche Vorteile gegenüber der zentralen Warmwasserbereitung. Von den konventionellen Techniken schneidet ansonsten die Ölzentralheizung am schlechtesten ab.

Bei der Analyse ist zu berücksichtigen, daß beim Übergang von einem dezentralen zu einem zentralen System eine Heizungs- und Warmwasserverteilung installiert werden muß. Diese Maßnahme wird daher immer extrem teuer und wird in der Regel nur bei einer Totalsanierung des Hauses durchgeführt. Beim Austausch eines zentralen Wärmeerzeugers wird davon ausgegangen, daß das vorhandene Verteilungssystem weiter genutzt wird. Somit werden auch keine Kosten für die Verteilung angesetzt. Eine Ausnahme bilden die Wärmepumpensysteme, da sich die in den neuen Bundesländern vorhandenen Wärmeverteilungssysteme nicht für die niedrigen Temperaturen, für die Wärmepumpen in der Regel ausgelegt sind, eignen und daher ausgetauscht werden müssen. Aus diesem Grund werden hier sowohl beim Austausch eines zentralen wie eines dezentralen Systems die Investitionen für die Verteilung in Rechnung gestellt.

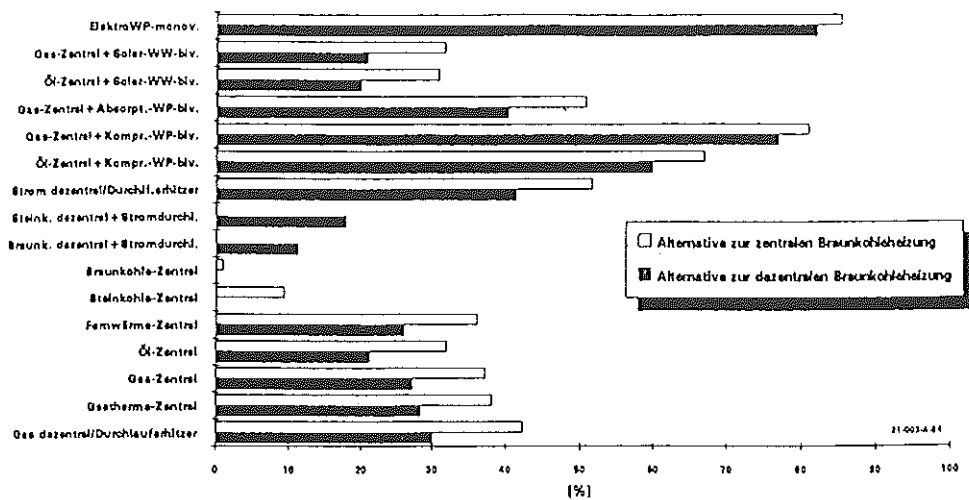


Bild 6-33a: Vergleich des Endenergieeinsparpotentials bei Ersatz zentraler bzw. dezentraler Braunkohleheizungen in Ein-/Zweifamilienhäusern durch neue Wärmeerzeuger in den neuen Bundesländern

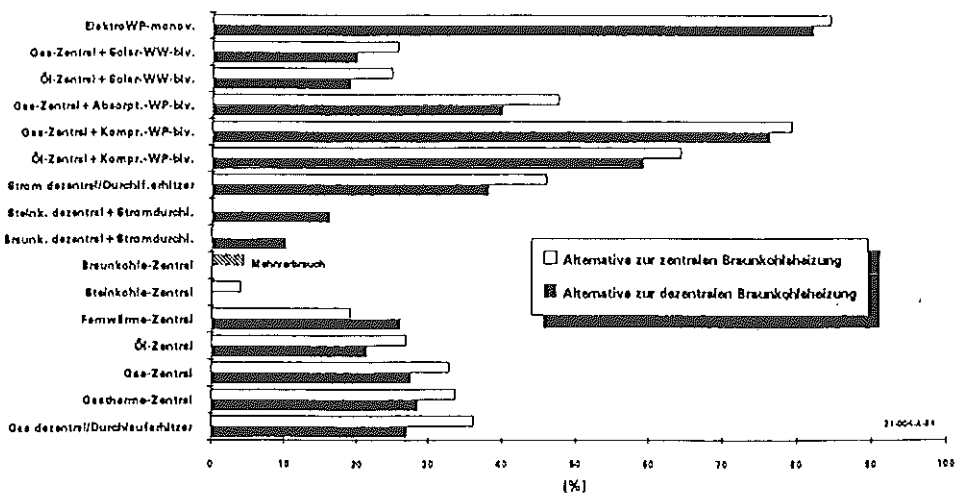


Bild 6-33b: Vergleich des Endenergieeinsparpotentials bei Ersatz zentraler bzw. dezentraler Braunkohleheizungen in Mehrfamilienhäusern durch neue Wärmeerzeuger in den neuen Bundesländern

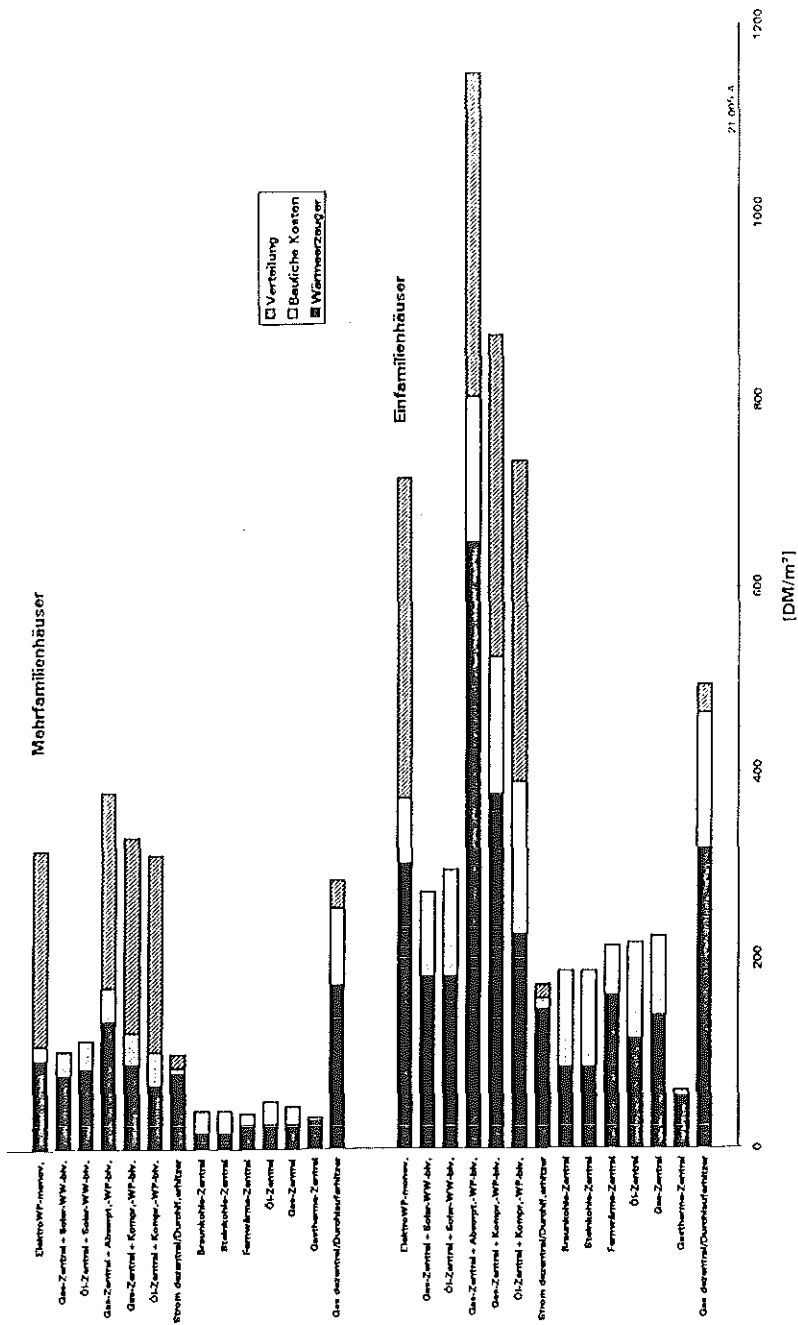


Bild 6-34a: Vergleich der Investitionen bei Ersatz zentraler Braunkohleheizungen in Ein-/Zwei- und Mehrfamilienhäusern durch neue Wärmeerzeuger in den neuen Bundesländern

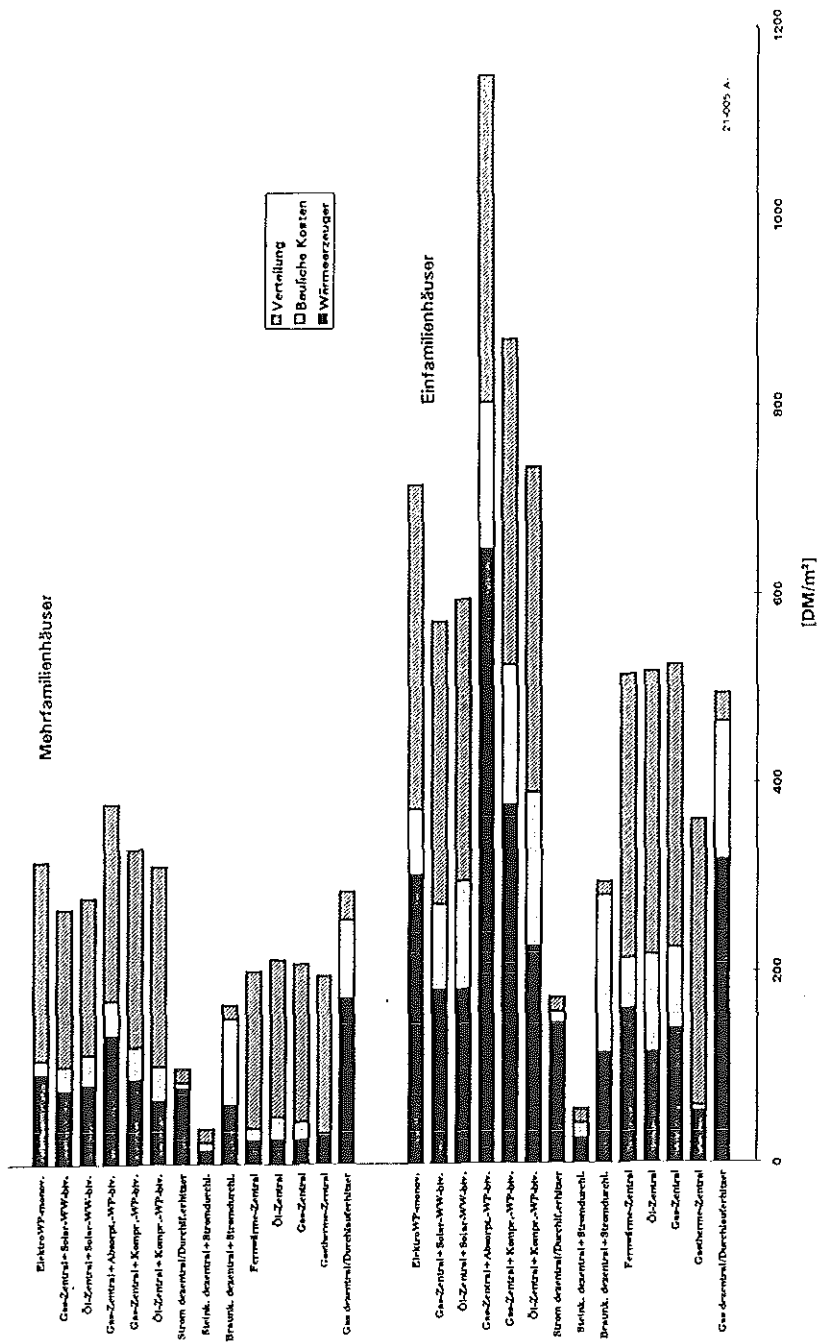


Bild 6-34b: Vergleich der Investitionen bei Ersatz dezentraler Braunkohleheizungen in Ein-/Zwei- und Mehrfamilienhäusern durch neue Wärmeerzeuger in den neuen Bundesländern

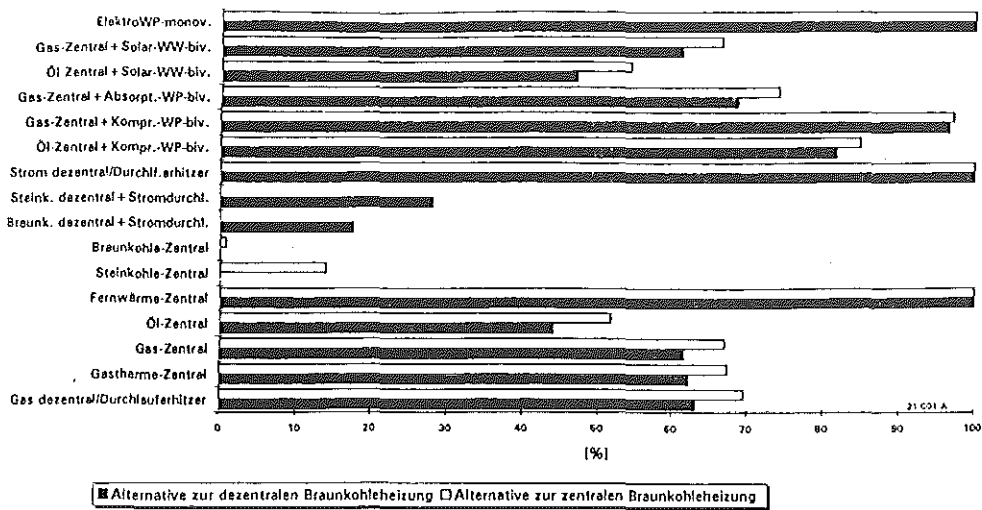


Bild 6-35a: Vergleich des CO₂-Minderungspotentials bei Ersatz zentraler bzw. dezentraler Braunkohleheizungen in Ein-/Zweifamilienhäusern durch neue Wärmeerzeuger in den neuen Bundesländern (Vor-Ort-Emissionen)

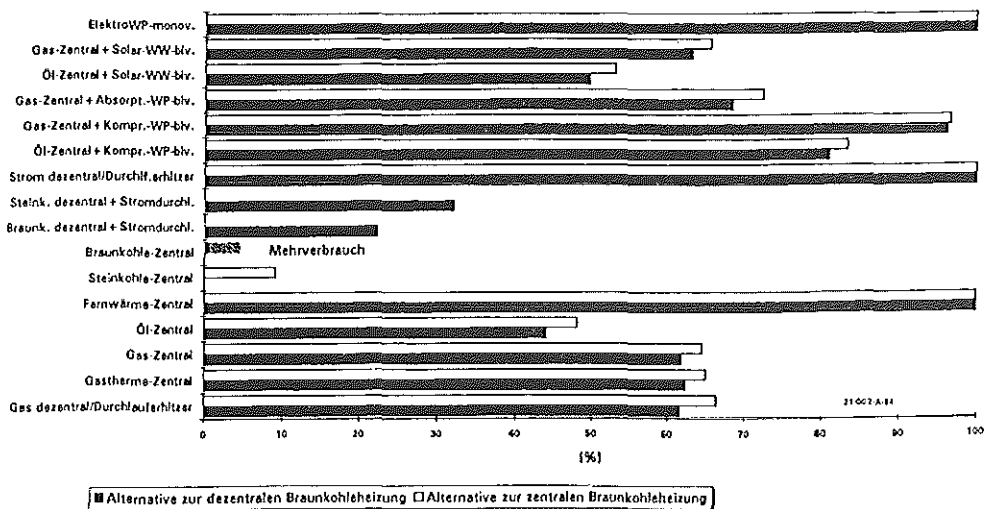


Bild 6-35b: Vergleich des CO₂-Minderungspotentials bei Ersatz zentraler bzw. dezentraler Braunkohleheizungen in Mehrfamilienhäusern durch neue Wärmeerzeuger in den neuen Bundesländern (Vor-Ort-Emissionen)

6.3. Haushaltsgeräte

Neben Einsatzart und -häufigkeit stellt der energietechnische Stand eines Haushaltsgerätes eine wesentliche, den Jahresenergieverbrauch bestimmende Größe dar. Der energietechnische Stand von Haushaltsgeräten hat sich mit der laufenden Umsetzung technischen Fortschritts in der Vergangenheit ständig verbessert. Bezogen auf gleiche Energiedienstleistung beim Waschen (z.B. pro kg Kochwäsche), beim Spülen (z.B. pro kg Geschirrmenge), beim Kühlen (z.B. pro 100 l Kühlvolumen), beim Beleuchten (z.B. Leistungsaufnahme pro Lichtstrom) und anderen Anwendungen elektrischer Energie konnten bei Neugeräten erhebliche Verbrauchsminderungen erzielt werden. Am Beispiel von Wasch- und Spülmaschinen, Kühl- und Gefriergeräten kann dies für die alten Bundesländer näher erläutert werden.

Bild 6-36 zeigt über einen Zeitraum von rd. 35 Jahren den Stromverbrauch der jeweils modernsten Waschmaschine beim Waschen von 4 kg Kochwäsche. Der Übergang von der Bottich- zur Trommelwaschmaschine Ende der 50er Jahre, Reduzierung der Flottenmengen Ende der 60er Jahre, verbesserte Temperatursteuering Ende der 70er Jahre und optimalere Gestaltung der Waschprogramme in den 80er Jahren führten zu einem erheblichen Verbrauchsrückgang. Dieser technische Entwicklungsprozeß ist noch nicht abgeschlossen und läßt noch weitere Verbesserungen zu. Innerhalb der nächsten 10 Jahre sind spezifische Verbrauchswerte von ca. 1,5 kWh pro 4 kg Kochwäsche durchaus realisierbar.

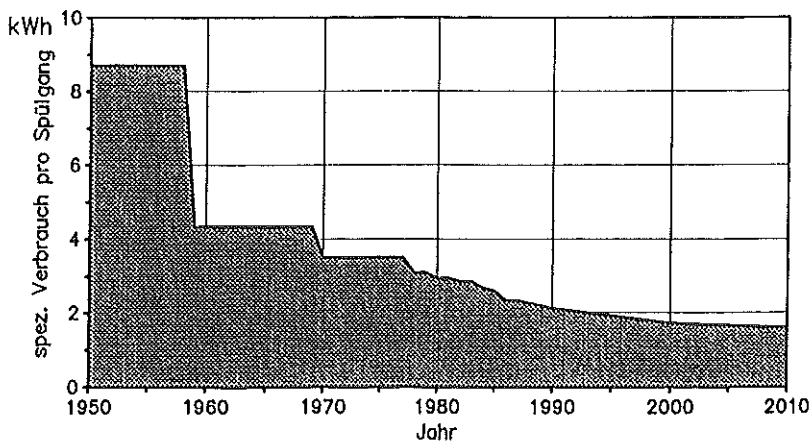


Bild 6-36: spez. Verbrauch pro Waschgang mit 4kg Kochwäsche der jeweils modernsten Waschmaschine

In **Bild 6-37** veranschaulichen die Stromverbrauchskennlinien verschiedener Gerätegenerationen von Waschmaschinen wie sich für eine Wäscheart der lastabhängige und der lastunabhängige Stromverbrauch entwickelt haben. Beide weisen eine rückläufige Tendenz auf - ein Folgeeffekt verringerter Flottenmengen, die zu reduzierten Verbrauchsniveaus beim Aufheizen führen und wegen des anteilig zunehmenden Stromverbrauchs für Bewegen, Schleudern und Abpumpen die Lastabhängigkeit vermindern. Bei modernen Geräten ist daher besonders auf gute Auslastung zu achten, da erst dann besonders niedrige spezifische Verbrauchswerte erreichbar sind.

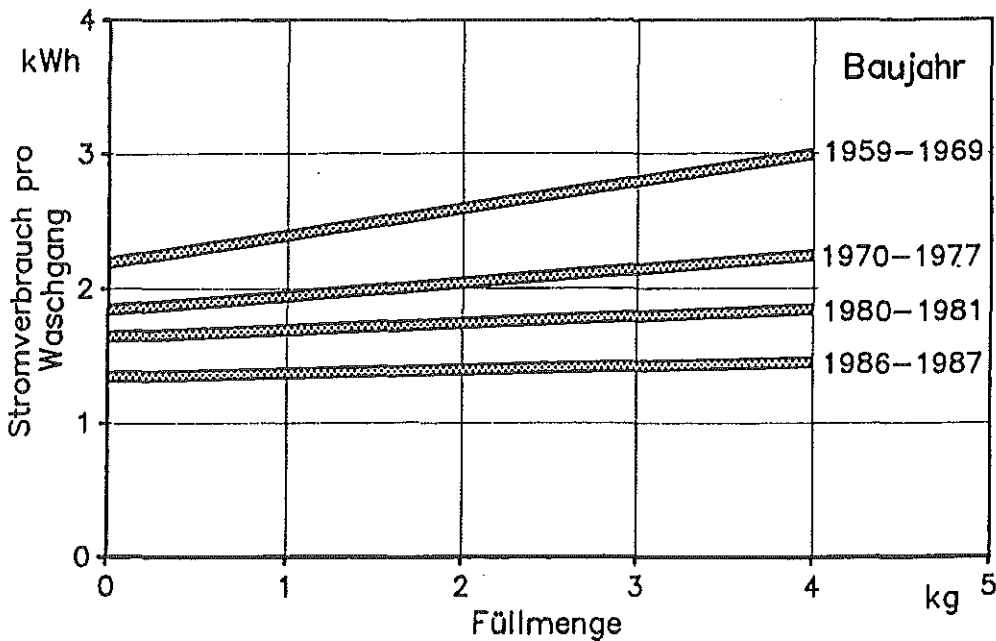


Bild 6-37: Stromverbrauch bei Buntwäsche (Vor- und Hauptwäsche) in Abhängigkeit der Füllmenge

Auch bei Kochwäsche und Feinwäsche haben sich im Laufe der Zeit die Stromverbrauchskennlinien von Neugeräten bei den einzelnen Waschprogrammen, wenn auch mit etwas anderen Tendenzen, geändert.

Für sparsame Neugeräte wird mit **Tabelle 6-18** eine Übersicht zu Wasserverbrauch und spezifischem Stromverbrauch für Kochwäsche gegeben, wobei nach Front- und Toplader sowie Frontlader mit Warmwasseranschluß unterschieden wird. Bei Geräten mit Warmwasseranschluß ist der zugehörige Energieeinsatz für die bezogenen Warmwassermengen nicht enthalten.

| Waschmaschine | Wasserverbrauch [l] | spez. Stromverbrauch [kWh/kg Kochwäsche] |
|-------------------------------|------------------------|---|
| Frontlader | 58-70 | 0,36-0,40 |
| Toplader | 59-70 | 0,38-0,42 |
| Frontlader mit WW-Anschluß | 68-78 | 0,18-0,19 |
| Waschtrockner Waschen | 65-70 | 0,36-0,40 |

Tabelle 6-18: Energierrelevante Verbrauchsdaten sparsamer Neugeräte bei Waschmaschinen

Eng verknüpft mit dem Waschen sind die sich anschließenden Trocknungsvorgänge. Mit **Tabelle 6-19** werden ebenfalls für sparsame Neugeräte die je nach Trocknungstechnologie unterschiedlich anfallenden spezifischen Stromverbräuche angegeben.

| Trockner | Technologie | spez. Stromverbrauch [kWh/kg Wäsche] |
|---------------------------|-------------------|---|
| Trommeltrockner | Abluft | 0,54-0,65 |
| | Luft-Kondensation | 0,60-0,65 |
| Schranksrockner | Kaltluft | 0,17-0,20 |
| | Warmluft | 0,72-0,84 |
| Waschtrockner Trocknen | Kondensation | 0,63-0,65 |

Tabelle 6-19: Energierrelevante Verbrauchsdaten sparsamer Neugeräte bei Wäschetrocknern

Der energietechnische Fortschritt bei Spülmaschinen kann mit **Bild 6-38** belegt werden. Sowohl für Normal- wie auch die Sparprogramme hat die Verbesserung der Programmabläufe in Verbindung mit niedrigeren aufzuheizenden Wassermengen zu einem deutlichen Verbrauchsrückgang und gegenüber den Verbrauchsniveaus Anfang der 70er Jahre praktisch zu einer Halbierung des Stromverbrauchs geführt. Eine weitere drastische Verbrauchsminderung ist bei heutigen bekannten Verfahren nicht in Sicht.

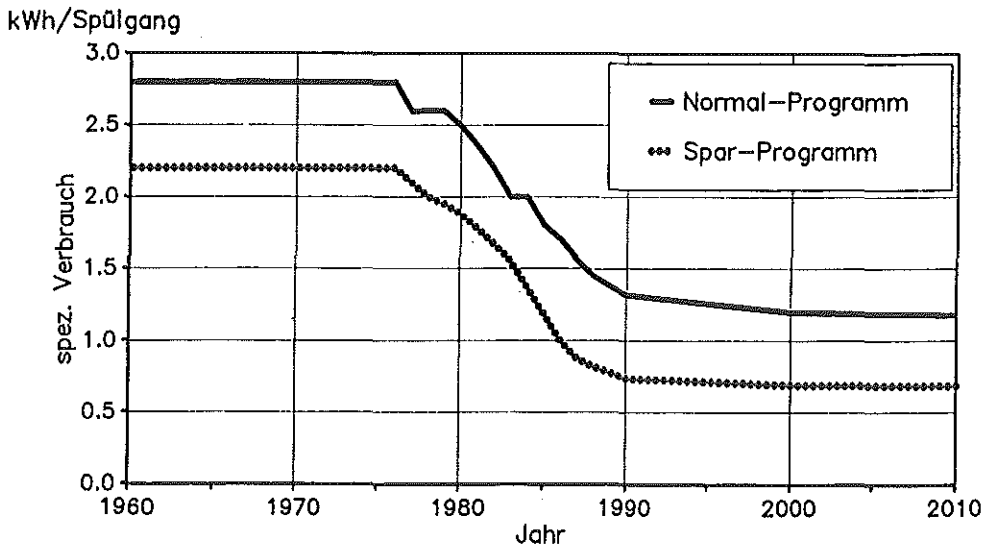


Bild 6-38: Spülmaschine - spez. Stromverbrauch von Neugeräten

| Spülmaschinen | Wasserverbrauch [l] | spez. Stromverbrauch [kWh/Maßgedeck] |
|-----------------------------------|------------------------|---|
| 12-14 Maßgedecke 60 cm- Geräte | 19-23 | 0,12-0,14 |
| 7-8 Maßgedecke 45 cm- Geräte | 17-18 | 0,12-0,15 |

Tabelle 6-20: Energierelevante Verbrauchsdaten sparsamer Neugeräte bei Spülmaschinen

Für sparsame Neugeräte sind in Tabelle 6-20 einige verbrauchstypische Daten angegeben. Bezogen auf das Kühl- oder Gefriervolumen von neuen Kühl- und Gefriergeräten konnte der Stromverbrauch dieser Geräte in den vergangenen 20 Jahren beträchtlich gesenkt werden. Günstigere Kältemittel, bessere Kompressoren und wärmetechnisch hervorragende Isolierstoffe sind als Ursache zu nennen. Sie alle haben sich auf die typisierbaren Geräte unterschiedlich ausgewirkt. Wie Bild 6-39 und Bild 6-40 zeigen, ist der Rückgang des spezifischen Verbrauchs bei 3-Sterne-Kühlschränken, Kühl-Gefrier-Kombinationen und Gefriertruhen besonders ausgeprägt, bei Gefrierschränken noch sehr bemerkenswert, während bei 0-2-Sterne-Kühlschränken und 4-Sterne-Kühlschränken dieser Rückgang weniger spektakulär ausgefallen ist.

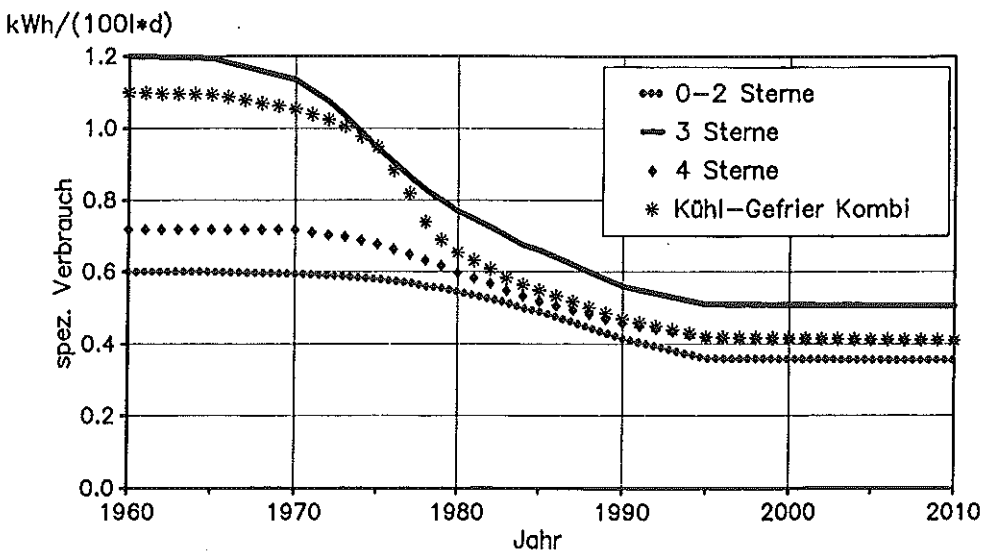


Bild 6-39: Kühlschränke - spez. Stromverbrauch von Neugeräten

Eine generelle Fortsetzung dieser Trends der Verbrauchsminderung ist wenig wahrscheinlich, da der Zwang zur Substitution thermodynamisch oder wärmetechnisch günstiger, aber wenig umweltfreundlicher Kältemittel und Isolierstoffe durch umweltgerechtere Ersatzstoffe mit ungünstigeren technischen Eigenschaften zumindest kompensierend wirkt und unter Umständen gar wieder zur spezifischen Verbrauchszunahme führen kann.

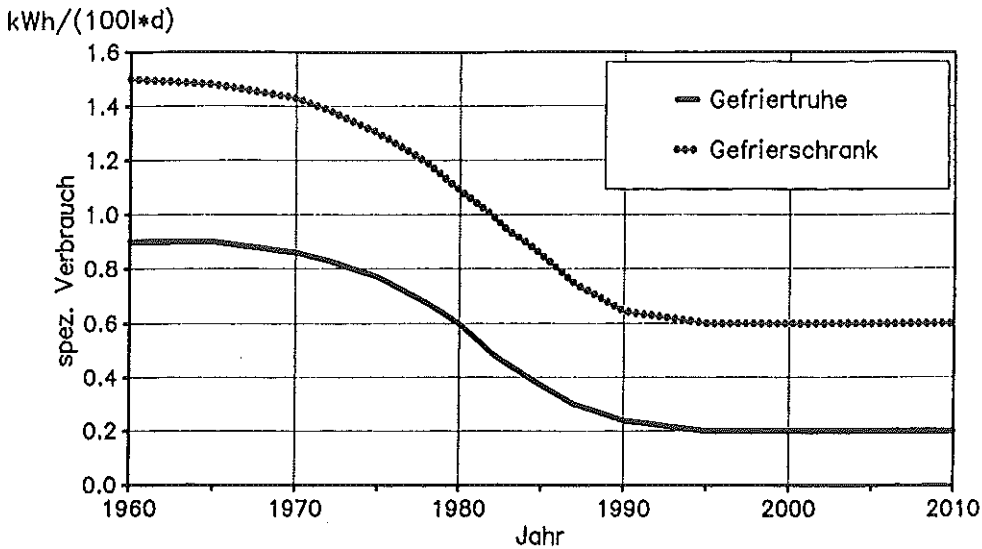


Bild 6-40: Gefriergeräte - spez. Stromverbrauch von Neugeräten

Bei Kühl- und Gefriergeräten ist zudem die Gerätegröße von Bedeutung. Erst die beiden Informationen 'volumenspezifischer Verbrauch' und 'Gerätevolumen' ergeben eine Aussage über den absoluten Verbrauch. **Bild 6-41** und **Bild 6-42** veranschaulichen welche Gerätegröße beim Gerätekauf im Mittel des Marktangebotes gewählt wurden. Bei allen Gerätarten scheint sich eine gewisse Stabilisierung in der Gerätegröße abzuzeichnen, wobei zu großvolumigen Geräten Kühl-Gefrier-Kombinationen, 4-Sterne-Kühlschränke und Gefriertruhen zählen, während sich kleinere Gerätegrößen mehr bei 3-Sterne-Kühlschränken und Gefrierschränken finden.

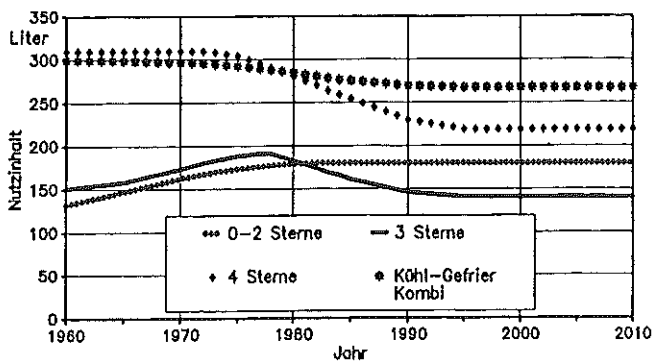


Bild 6-41: Kühlschränke - Gerätegröße von Neugeräten

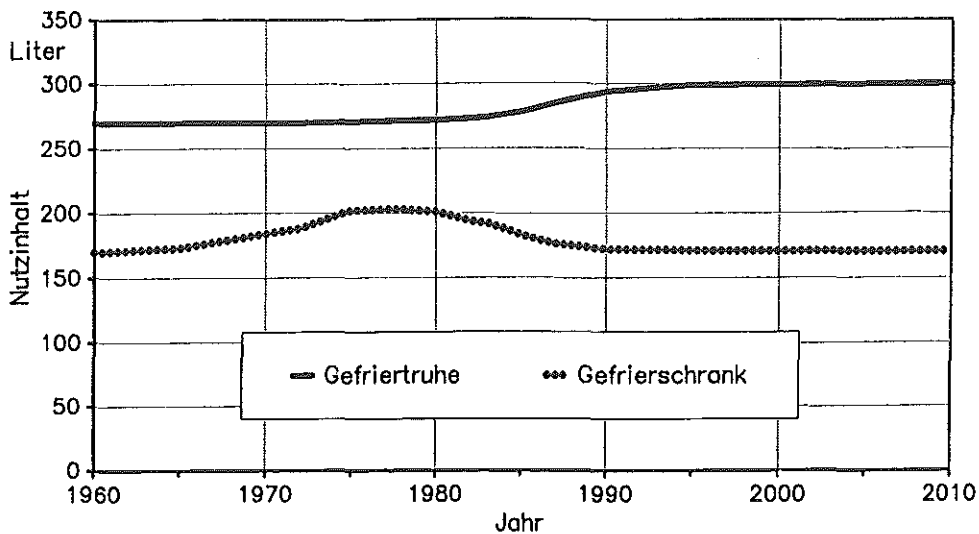


Bild 6-42: Gefriergeräte - Gerätegröße von Neugeräten

Tabelle 6-21 enthält für Tisch-/Unterbaugeräte, Stand- und Einbaugeräte und für die verschiedenen Kühltemperaturen, Angaben zu Nutzinhalt und die spezifischen Stromverbräuche von besonders sparsamen Kühlschränken und Kühlgefrierkombinationen (Neugeräte 1993). Analog zu Kühlgeräten sind sparsame Neugeräte zum Gefrieren in **Tabelle 6-22** berücksichtigt. Für Schränke und Truhen sind je nach Nutzinhalt die zugehörigen spezifischen Stromverbräuche angegeben.

Bei Kühl- und Gefriereinrichtungen mit FCKW-Einsatz für Kältemittel und Isoliergas zeichnet sich bereits kurz- bis mittelfristig eine Substitution von FCKW 11 und FCKW 12 ab, wobei FCKW 11 hauptsächlich durch Pentan, FCKW 12 je nach erforderlicher Kältetemperatur durch Butan, FKW 134a oder weitere Ersatzstoffe ersetzt werden. Da man beim Einsatz von Butan, Pentan und FKW 134a von keinem gegenüber der Verwendung von FCKW 11 und FCKW 12 erhöhtem Stromverbrauch ausgehen muß, kommt dem Einsatz von Fluorkohlenwasserstoffen erhebliche Bedeutung zu, da der bisher daraus resultierende Treibhauseffekt um ca. 95% gesenkt werden könnte.

| Geräteart | Nutzzinhalt [l] | spez. Verbrauch [Wh/100l * d] |
|---|--------------------|----------------------------------|
| Kühlschrank 0* | | |
| Tisch/Unterbaugeräte | 143-162 | 0,24-0,34 |
| Standgeräte | 196-381 | 0,13-0,21 |
| Einbaugeräte | 135-276 | 0,30-0,48 |
| | | |
| Kühlschrank 1* | | |
| Tisch/Unterbaugeräte | 106-143 | 0,48-0,59 |
| Einbaugeräte | 132-156 | 0,48-0,64 |
| | | |
| Kühlschrank 2* | | |
| Tisch/Unterbaugeräte | 124-152 | 0,52-0,68 |
| Standgeräte | 189-257 | 0,43-0,48 |
| | | |
| Kühlschrank 3* | | |
| Tisch/Unterbaugeräte | 131-160 | 0,38-0,56 |
| Standgeräte | 221-289 | 0,38-0,45 |
| Einbaugeräte | 131-285 | 0,37-0,62 |
| | | |
| Kühl-/Gefrier- Kombinationen | | |
| Tisch/Unterbaugeräte | 175-186 | 0,72-0,83 |
| Standgeräte | 234-349 | 0,36-0,43 |
| Einbaugeräte | 208-331 | 0,40-0,67 |

Tabelle 6-21: Energierrelevante Verbrauchsdaten sparsamer Neugeräte bei Gefriergeräten

| Gefriertruhen | Nutzzinhalt [l] | spez.Stromverbrauch [kWh/100l*d] |
|----------------------------------|--------------------|-------------------------------------|
| Gefriertruhen Gefrierschränke | 225-438 | 0,17-0,22 |
| Tisch/Unterbaugeräte | 81-131 | 0,74-0,91 |
| Standgeräte | 168-307 | 0,30-0,36 |
| Einbaugeräte | 89-186 | 0,64-1,13 |

Tabelle 6-22: Energierelevante Verbrauchsdaten sparsamer Neugeräte bei Kühlgeräten

Beim Stromverbrauch für die Beleuchtung kommen eine Reihe von Einflüssen zum Tragen. Auslösendes Moment ist der gewünschte Lichtstrom und die Dauer des Beleuchtens. Je nach Raumart ergeben sich aufgrund von Verbraucherbefragungen signifikante Unterschiede:

- im installierten Lichtstrom pro m² Wohnfläche
- in der Ausnutzungsdauer des installierten Lichtstromes
- in der Ausstattung nach Lampenarten
- in der Anzahl von Lampen und Leuchten

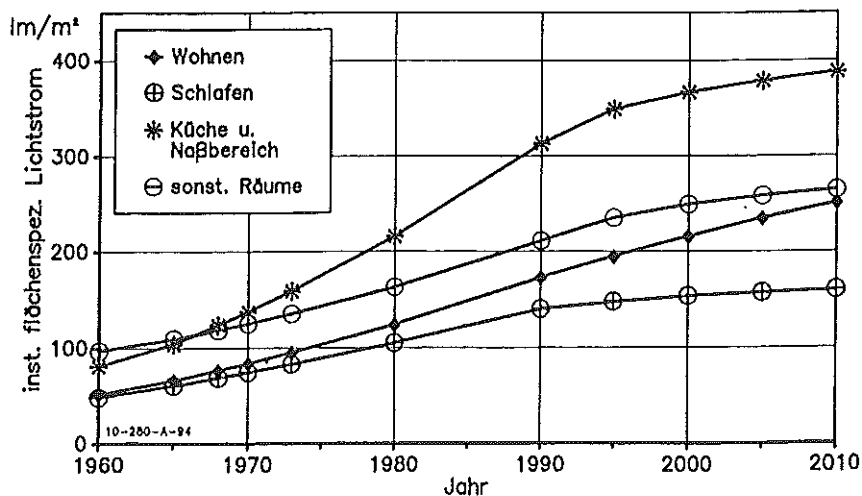


Bild 6-43: Beleuchtung - inst. flächenspez. Lichtstrom nach Raumtypen

Am Beispiel des Lichtstromes pro m² Wohnfläche, der aufgrund der Lampenarten, Lampenanzahl und der jeweilig installierten Leistung sich im Mittel von 150 Haushalten ergibt, können mit **Bild 6-43** die verschiedenen Raumarten einer Wohnung charakterisiert werden. Der Darstellung kann entnommen werden, daß im Laufe der Zeit ein genereller Anstieg des installierten Lichtstromes pro m² Wohnfläche erfolgt ist mit der angenommenen Tendenz einer langfristigen Sättigung. Küche und Naßbereich stellen besondere Anforderungen an die Beleuchtungsqualität, während bei Schlafräumen die Ansprüche von mehr untergeordneter Bedeutung sind. Je nach Raumart ist künftig von einem installierten Lichtstrom zwischen 150 und 400 lm pro m² Wohnfläche auszugehen.

Einschaltdauer, Stand-by-Betrieb, Geräteanzahl und installierte Leistung bestimmen den Stromverbrauch beim Fernsehen. Während die drei erstgenannten Faktoren nach wie vor steigende Tendenz aufweisen, kann bei Bildröhrengeräten von einer gewissen Stagnation der Geräteleistung, bei neuen Fernseh-Techniken von einem Rückgang der installierten elektrischen Leistung ausgegangen werden. **Bild 6-44** veranschaulicht, wie im Zeitbereich von 1960 bis zur Gegenwart und in die Zukunft projiziert die Geräteleistungen zu beurteilen sind.

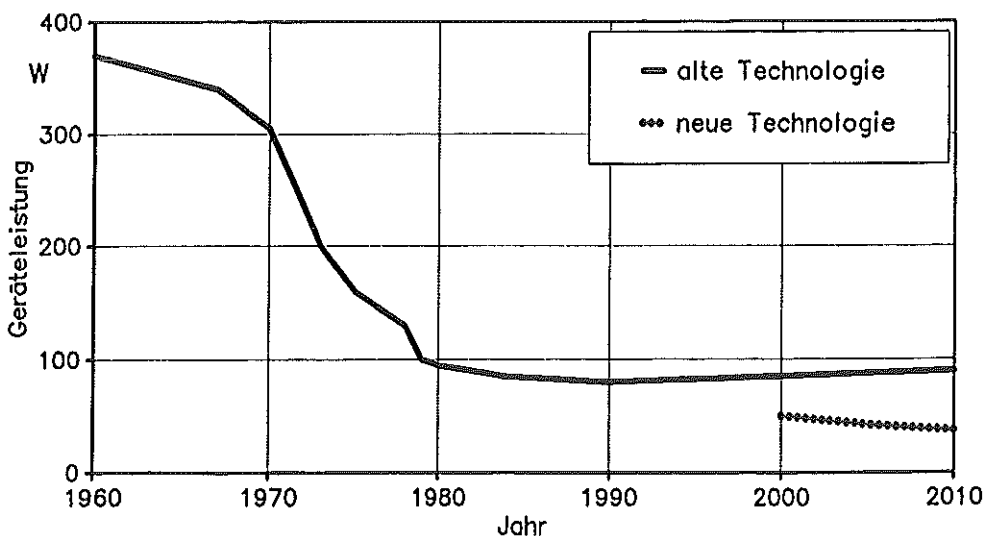


Bild 6-44: Fernseher - Betriebsleistung von Geräten mittl. Größe

Eine energietechnische Verbesserung von Geräten kommt dort zum Tragen, wo im Zuge der Ersatzbeschaffung Alt- durch Neugeräte ersetzt werden. Aus dem Vergleich von jährlichem Inlandsabsatz an Haushaltsgeräten und dem Gerätebestand ergeben sich mittlere Geräte-Lebensdauern, die im betrachteten Zeitbereich von 1960 bis 1986 bei folgenden Werten liegen:

| | |
|--------------------|--------------------|
| Waschvollautomaten | 9,5 bis 11,5 Jahre |
| Wäschetrockner | ca. 10 Jahre |
| Spülmaschinen | 8 bis 11 Jahre |
| Kühlschränke | 15 bis 18 Jahre |
| Gefrierschränke | ca. 15 Jahre |
| Fernsehgeräte | ca. 8 Jahre |

Die Diskussionen zur Substitution elektrischer Energie durch andere Energieträger erstrecken sich im wesentlichen auf den Bereich der Niedertemperaturwärme und dabei auf:

- elektrische Raumheizung, insbesondere die Elektrospeicherheizung
- elektrische Warmwasserbereitung mit Durchlauferhitzern oder mittels Heisswasserspeicher
- Wasch- und Spülmaschinen mit elektrischer Auf- und Nachheizung

Hinzu kommen Substitutionen beim El- Kochherd durch den Gasherd.

Die Kritik an der Niedertemperaturwärmeversorgung mittels elektrischer Energie orientiert sich nahezu ausschließlich am primärenergieseitig bewerteten Kondensationsstrom, der pro kWh elektrische Energie rd. 3 kWh an Primärenergie erfordert. Abgesehen von Art und Qualität der Primärenergieträger wie Stein- und Braunkohle, sowie Kernenergie, die praktisch nur in großen, zentralen Umwandlungsanlagen zum Einsatz gelangen und nur so vertretbar genutzt werden können, ist für die energetische Beurteilung des Stromeinsatzes weniger der Stromerzeugungswirkungsgrad als der Primärenergieaufwand pro Energiedienst-

leistung von Bedeutung. Hinzu kommt, daß der Einsatz hochwertiger und anwendungsfreundlicher Energieträger wie Heizöl und Erdgas für Niedertemperaturwärmezwecke zwar einfach und kostengünstig erfolgen kann, unter Ressourcenaspekten aber auch mit Vorbehalten zu beurteilen sind. Einsatz elektrischer Energie für Wärmezwecke schont so die edleren fossilen Rohstoffe.

Untersuchungen zu Systemvergleichen bei Strom- oder Brennstoffeinsatz von Heizungsanlagen, die auch die systemtechnischen Unterschiede und Wirkungen von zentralen und dezentralen Heizsystemen einbeziehen, kommen zu dem Ergebnis, daß bei gleichen wärmetechnischen Rahmenbedingungen von Gebäuden der Primärenergieaufwand bei elektrischer, dezentraler Raumheizung etwa um den Faktor 1,5 höher liegt als bei brennstoffgefeuerten Zentralheizungsanlagen. Dieser Faktor vermindert sich entsprechend, je höher der Stromanteil aus Kraftwärmekopplung ist und je wärmetechnisch signifikant günstiger elektrisch beheizte Gebäude im Vergleich zu konventionell beheizten Gebäuden liegen. Untersuchungen zum Stromverbrauch von elektrisch beheizten Wohnungen in älteren Mehrfamilienhäusern zeigen ein außerordentlich niedriges Verbrauchsniveau von ca. 130 kWh/(m²*a), das auch bei primärseitiger Bewertung von Kondensationsstrom mit einer konventionellen Beheizungstechnik in grober Näherung energetisch konkurrieren kann.

Ähnliches gilt prinzipiell auch für die elektrische Warmwasserbereitung, die weitestgehend als dezentrale Versorgungstechnik Verbreitung gefunden hat. Sie wird häufig im Rahmen oberflächlicher Betrachtungen und Einschätzungen in der Regel energetisch nicht zutreffend bewertet, da das zugehörige dezentrale, verlustarme System weitestgehend unberücksichtigt bleibt. Quervergleiche mit zentralen Warmwasser-Versorgungssystemen zeigen, daß die elektrische Warmwasserbereitung bei Ein- und Zweipersonenhaushalten auch bei primären-energetischer Bewertung eine rationelle Versorgung darstellt. Lediglich die dezentrale Warmwasserbereitung mit Gaseinsatz erweist sich unter gleichen Rahmenbedingungen energetisch günstiger.

Mehr emotionale Einstellungen zum Stromeinsatz bei der Warmwasserbereitung können im Zeitbereich bis zum Jahr 2000 bzw. 2010 diese Art der Stromanwendung signifikant zurückdrängen. Hierzu kommt der Trend zur häufig energieintensiveren - zentralen Warmwasserbereitung mit Brennstoffeinsatz. Auf längere Sicht ist zudem ein langsam zunehmendes Marktpotential für solare Warmwasserbereitung abzusehen.

Ein Ersatz des Elektroherdes und Elektrobackofens durch einen Gasherd ist grundsätzlich möglich, aber unter den Aspekten 'verbraucherfreundliches Kochen und Backen' sowie 'Technikentwicklung' und 'energetische Systembetrachtung' nicht unbedingt sinnvoll. Mit folgenden Anmerkungen kann dies dargelegt, abgeschätzt und beurteilt werden:

- beim heutigen Kochgerätebestand liegt der Endenergieverbrauch beim Gaskochen (Konventioneller Herd) etwa um den Faktor 1,6 höher als beim elektrischen Kochen (Herd mit Glaskeramik)
- Fortschrittliche Elektroherde (Induktion, Halogen) führen zu niedrigerem Stromverbrauch, Gasherde mit verbraucherfreundlichem Keramik- Kochfeld zu deutlich höherem Gasverbrauch; Gaskochen wird so vergleichsweise etwa um den Faktor 2,1 energieintensiver sein als elektrisches Kochen
- Gaskochen erfordert eine dezentrale Gasversorgung mit zusätzlichem Kostenaufwand bei der Erstinstallation und Instandhaltung. Ohne Gaseinsatz für Heizung und Warmwasserbereitung fallen Zählerkosten und zusätzlicher Ablesungsaufwand an. Gaskochen führt zu einer mitunter erwünschten Befeuchtung der Küche durch Freisetzen der Verdampfungswärme. Gaskochen zieht mitunter aber auch zusätzliche Lüftungsmaßnahmen nach sich mit der Folge von Lüftungswärmeverlusten während der Heizungsperiode
- Unter Einbezug von Herstellungsaufwand der Herde und Versorgungsleitungen, Betriebsenergieverbrauch fortschrittlicher Elektro- und Gasherde, Meß- und Verrechnungsaufwand, Stromerzeugung und Gasdarbietung ergeben sich praktisch ähnliche primärenergetische Aufwendungen beim elektrischen wie beim Gaskochen.

Eine Entscheidung zugunsten des Gaskochens dürfte daher nur unter Emissionsaspekten zu treffen sein.

Feld- und Prüfstandsuntersuchungen zum Einsatz von Wasch- und Spülmaschinen mit Anschluß an ein zentrales Warmwasserversorgungsnetz zeigen, daß diese oft als extrem energiesparend propagierte Versorgungstechnik nur unter bestimmten Randbedingungen zu einer effektiven Einsparung an Primärenergie durch Substitution elektrischer Energie führt. Solche für die überwiegende Zahl der Haushalte atypische Randbedingungen sind:

- Einsatz von energieintensiven Altgeräten
- günstiges Anlaufverhalten bei der Warmwasserentnahme

- sehr gut wärmegeämmte Verteilleitungen
- sehr gute feuerungstechnische Nutzungsgrade der Wärmeerzeuger

oder

- Einsatz von Solaranlagen zur Warmwasserbereitung mit hoher solarer Deckungsrate.

Bei den bestandstypischen Randbedingungen wie:

- Einsatz von Neugeräten
- Warmwasserverteilungsanlagen (Bestand älter als 10 Jahre)
- gute feuerungstechnische Nutzungsgrade wird ein Anschluß von Wasch- und Spülmaschinen an eine bestehende Warmwasserversorgung primärenergetisch kaum zu Energieeinsparungseffekten führen.

Bei Randbedingungen, wie sie häufig in Neubauten vorliegen wie:

- Einsatz von Neugeräten
- sehr gut wärmegeämmte Warmwasser-Verteilleitungen und günstiges Anlaufverhalten an der Zapfstelle
- sehr gute feuerungstechnische Nutzungsgrade

wird mit dem Anschluß von Wasch- oder Spülmaschinen an die Warmwasserversorgung je nach Programmwahl eine Substitution elektrischer Energie erreicht, die bei primärenergetischer Bewertung zwischen +5% und -18% liegt /Götschel, u.a., 1989; Hofer, 1992/; d.h. teilweise zu etwas Mehrverbrauch oder deutlichem Minderverbrauch führt. Hinzu kommt allerdings, daß mit weiter abnehmender Flottenmenge bei künftigen Wasch- und Spülmaschinen ein Einspareffekt wieder verringert bzw. ein zusätzlicher Mehrverbrauch initiiert wird. Erst bei Einführung von thermostatisch gesteuerter Mischung von Kalt- und Warmwasserzufuhr bei Wasch- und Spülmaschinen dürfte ein signifikanter Einspareffekt erreichbar sein.

7. Nutzungs- und Verarbeitungsmöglichkeiten der Daten des Haushalts-sektors

Die von TP 5 ermittelten Daten werden in einer vom FIZ Karlsruhe erstellten Datenbank abgelegt. Als Datenbanksystem ist ORACLE gewählt worden. Die Daten sind dort im wesentlichen in fünf Dateien abgespeichert (**Bild 7-1**):

- Gebäude-Datei
- Bauphysik-Datei
- Heizungs-Datei
- Ergebnis-Datei
- Haushaltsgeräte-Datei

Diese Dateien darf man sich allerdings nicht als physikalische Dateien vorstellen, sondern als virtuelle Datencluster, da sie datenbankintern wieder relational aufgeteilt sind. Diese interne Aufteilung ist für den Nutzer aber in der Regel nicht von Belang.

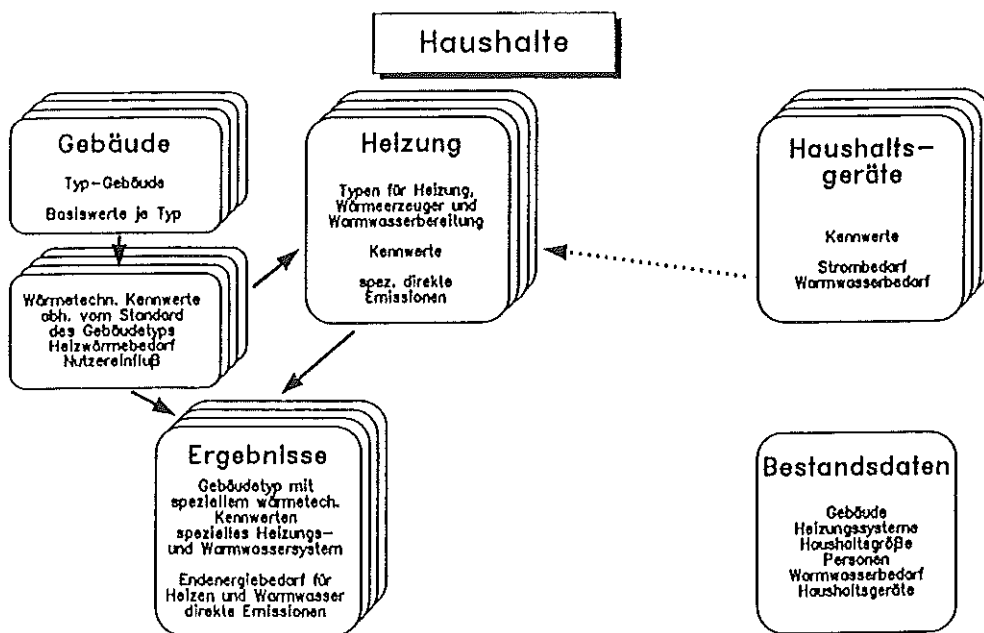


Bild 7-1: FIZ-Datenbankstruktur des Sektors Haushalte

In der **Gebäude-Datei** sind die Geometriedaten der Typhäuser enthalten (Flächen etc.). Insgesamt sind 32 Typwohngebäude für die alten Bundesländer, 14 Typwohngebäude für die neuen Bundesländer und 7 typische Neubauten abgelegt. Weiterhin finden sich 4 flächengewichtete Mixgebäude für das LP-Modell des Teilprojektes 1 jeweils für die Statusgebiete und -jahre Alte Bundesländer 1989, Neue Bundesländer 1989, Alte Bundesländer 2005, Neue Bundesländer 2005 und Gesamtdeutschland 2020. Ebenfalls sind insgesamt 84 typisierte Nichtwohngebäude in der Datenbank abgespeichert. Eine Überblick über die abgelegten Daten gibt folgende Zusammenstellung:

| Kurzbezeichnung | Langbezeichnung |
|-----------------|---|
| AV_VERHAELT | Oberflächen/Volumen-Verhältnis des Gebäudes |
| A_DACH | Fläche des Dachs bzw. der Dachgeschoßdecke |
| A_ENERBEZ_GB | Energiebezugsfläche des Gebäudes |
| A_FE_DACH | Fensterfläche Dachschräge |
| A_FE_GES | Fensterfläche gesamt |
| A_FE_N | Fensterfläche Nord |
| A_FE_OW | Fensterfläche Ost/West |
| A_FE_S | Fensterfläche Süd |
| A_KELLER | Kellerdeckenfläche |
| A_NUTZ_GEB | Wohnfläche (Nutzfläche) des Gebäudes |
| A_WAND | Außenwandflächen (ohne Heizkörpermischen) |
| A_WAND_HK | Außenwandfläche vor Heizkörper |
| DACHNEIGUNG | Dachneigung |
| L_WAERMEBRUE | Länge der Wärmebrücken |
| VOL_BRUTTO | Bruttorauminhalt des Gebäudes |
| VOL_NETTO | Nettorauminhalt des Gebäudes |
| W_SPEICH_KAP | Wärmespeicherkapazität des Gebäudes |

In der Bauphysik-Datei werden die durch Energieeinsparmaßnahmen veränderbaren Daten (Wärmedurchgangskoeffizienten, Nutzereinflüsse etc.), die dafür aufzuwendenden Kosten und die monatlichen und jährlichen Heizwärmebedarfswerte abgelegt. Pro Typgebäude sind zwischen 7 und 24 ausgewählte Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen (siehe Kap. 6.) abgespeichert. Mit Hilfe der menügeführten Benutzeroberfläche können die einzelnen Maßnahmen auch gebäudeübergreifend verglichen werden. Einen Überblick über die Merkmale in dieser Datei gibt die folgende Zusammenstellung:

Kurzbezeichnung Langbezeichnung

| | |
|--------------|---|
| A_WIGA | Wintergarten: Fassadenfläche zum Kernhaus |
| BAUH_EIGENL | Eigenleistung: Prozentsatz bez. auf Gesamtinvestition |
| BESEIT_KOST | Beseitigungskosten: Prozentsatz bez. auf Gesamtinvestition |
| ETA_WRGMECH | Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung (mechanische Lüftung) |
| ETA_WRG_MFE | Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung (Gesamtluftwechsel) |
| G_FENSTER | Gesamtenergiedurchlaßgrad der Fenster |
| G_TWD | Transparente Wärmedämmung: Gesamtenergiedurchlaßgrad |
| INV_WSCH_DIF | Zusatzinvestition Wärmeschutz bei Renovierung |
| INV_WSCH_GES | Gesamtinvestition für bauliche Wärmeschutzmaßnahmen |
| KM_WERT | km-Wert: mittlerer gewichteter k-Wert der Gebäudehülle |
| K_DACH | k-Wert des Dachs bzw. der Dachgeschoßdecke |
| K_FE | k-Wert der Fenster |
| K_KELLER | k-Wert der Kellerdecke |
| K_TWD | Transparente Wärmedämmung: k-Wert der gedämmten Wand |
| K_WAERMEBRUE | Wärmebrückenkoeffizient |
| K_WAND | k-Wert der Außenwände ohne (Heizkörpernischen) |
| K_WAND_HK | k-Wert der Außenwände vor Heizkörpern |
| K_WIGA | Wintergarten: k-Wert der Verglasung (außen) |
| LÜFTWECHSEL | Luftwechsel (mittel pro Stunde, Fenster+Lüftung) Standardfall |
| P_HEIZ_NORM | Normwärme- (Auslegungswärmebedarf)(pro qm Wohnfläche) |
| P_LUEFT | elektr. Anschlußleistung Lüftungsanlage |
| TEMP_NACHT | Raumtemperatur (Gebäudemittel): Nachtsoll |
| TEMP_TAG | Raumtemperatur (Gebäudemittel): Tagsoll (Standardfall) |
| TWD_ANTEIL | transparente Wärmedämmung: Anteil an Außenwand |
| T_BAU | Bauzeit |
| T_BETRIEB | Betriebszeit der Lüftungsanlage (mittel pro Tag) |
| T_LEBEN_WT | Lebensdauer wärmetechnischen Maßnahme für das Gebäude |
| T_NACHTABS | Dauer der Nachtabstaltung/-absenkung |
| UMF_BEH | Beheizungsumfang (Standardfall) |
| VERSICHERUNG | Versicherung: Prozentsatz bez. auf Gesamtinvestition |
| WARTUNG_INST | Wartungskosten: Prozentsatz bez. auf Gesamtinvestition |
| WIGA_GLAS_WA | Wintergarten: Flächenverhältnis WIGA Verglasung zu A_WIGA |
| WIGA_VERHAEL | Wintergarten: Verhältnis WIGA Grundfläche zu Wohnfläche |
| W_GEW_EXT | Jährliche Wärmegewinne extern (pro qm Wohnfläche) |
| W_GEW_GES | Jährliche Wärmegewinne gesamt (pro qm Wohnfläche) |
| W_GEW_INT | Jährliche Wärmegewinne intern (pro qm Wohnfläche) |
| W_GEW_NUTZ | Jährliche Wärmegewinne gesamt nutzbar (pro qm Wohnfläche) |
| W_HEIZ_JAHR | Jahresheizwärmebedarf netto Standard (pro qm Wohnfläche) |
| W_VERL_GES | Jährliche Wärmeverluste gesamt (pro qm Wohnfläche) |
| W_VERL_LUEFT | Jährliche Wärmeverluste Lüftung (pro qm Wohnfläche) |
| W_VERL_TRANS | Jährliche Wärmeverluste Transmission (pro qm Wohnfläche) |

In der **Heizungs-Datei** sind die heizungstechnischen Kenngrößen typischer heute und in naher Zukunft eingesetzter Heizsysteme gespeichert (Wirkungsgrade, Nutzungsgrad-Kennlinien, Kostenkennlinien, spez. Emissionen etc.). Ähnlich wie bei den Gebäuden ist auch hier eine Mittelung der Kennwerte vorgenommen worden, so daß typisierte Systeme gewonnen werden konnten. Diese Datei untergliedert sich zum einen in die Heizungs- und Warmwasserverteilung und zum anderen in die Wärmeerzeuger. Für die Verteilung sind zwei Einrohr-, eine Zweirohr-, eine Fußboden- und eine wohnungszentrale Heizungsverteilung sowie eine zentrale und dezentrale Warmwasserverteilung jeweils für große und kleine Gebäude aufgenommen. Die Wärmeerzeuger umfassen verschiedene Zentralheizungssysteme, Einzelöfen, Wärmepumpen, Blockheizkraftwerke und Sonnenkollektoren. Eine Matrixtabelle gibt an, welche Wärmeerzeuger mit welcher Verteilung verknüpft werden können.

Die Darstellung der zur Verfügung stehenden Merkmale zeigt folgende Übersicht:

- Heizungs- und Warmwasserverteilung:

Kurzbezeichnung Langbezeichnung

| | |
|--------------|--|
| BAUH_EIGENL | Eigenleistung: Prozentsatz bez. auf Gesamtinvestition |
| BESEIT_KOST | Beseitigungskosten: Prozentsatz bez. auf Gesamtinvestition |
| INST_VERTEIL | Wartungskosten d. Verteilung in % bez. auf Gesamtinv. |
| L_VERTEIL | Länge Verteilleitungen gesamt |
| L_ZIRKL | Länge Zirkulationsleitung gesamt für Warmwasser |
| TEMP_SP | Temperatur des Warmwasserspeichers |
| T_LEBEN_TECH | Lebensdauer technisch |
| T_LEBEN_WIRT | Lebensdauer wirtschaftlich |
| T_ZIRK | Dauer der Zirkulation Warmwasser pro Tag |
| VERSICHERUNG | Versicherung: Prozentsatz bez. auf Gesamtinvestition |
| VERT21_KOST | Zusatzinvest. für Verteilung mit Standard Neubau |
| VERT31_KOST | Zusatzinvest. für Verteilung mit gehobenem Standard |
| VERTL_NH | Anteil Leitungslänge durch unbeheizte Räume |
| VOL_SP | Inhalt des Warmwasserspeichers (pro qm Wohnfläche) |
| WGEWINN | Anteil Wärmeverluste WW an mögl. Wärmegewinn f. Heizung |
| W_HILF | Hilfsenergie (elektr.) |
| W_VERL1_HZ | Nettoverteilungsverluste für Heizung Standard Altbau |
| W_VERL2_HZ | Nettoverteilungsverluste für Heizung Standard Neubau |
| W_VERL3_HZ | Nettoverteilungsverluste für Heizung Erhöhter Standard |
| W_VER_KON1 | Verteilungsverluste f. Warmwasser Konstantanteil: Standard Altbau |
| W_VER_KON2 | Verteilungsverluste f. Warmwasser Konstantanteil: Standard Neubau |
| W_VER_KON3 | Verteilungsverluste f. Warmwasser Konstantanteil: gehobener Standard |
| W_VER_VAR1 | Verteilungsverluste f. Warmwasser Variabler Anteil.: Standard Altbau |
| W_VER_VAR2 | Verteilungsverluste f. Warmwasser Variabler Anteil: Standard Neubau |
| W_VER_VAR3 | Verteilungsverluste f. Warmwasser Variabler Anteil: gehobener Standard |
| ZIRKL_NH | Anteil Leitungslänge durch unbeheizte Räume |

-Wärmeerzeuger:

| Kurzbezeichnung | Langbezeichnung |
|-----------------|--|
| A_KOLL_EFF | effektive Solarkollektorfläche (pro qm Wohnfläche) |
| BAUALTER_WE | Baualtersgruppe des Wärmeerzeugers |
| BER_VERLUST | rel. Bereitschaftsverlust des Wärmeerzeugers |
| BESEIT_KOST | Beseitigungskosten: Prozentsatz bez. auf Gesamtinvestition |
| CH4_SPEZ | spezifische CH4-Emissionen |
| CO2_SPEZ | spezifische CO2-Emissionen |
| CO_SPEZ | spezifische CO-Emissionen |
| EINSATZBER | Einsatzbereich (Leistungsbereich) der Heizungsanlage |
| ETA_NENN | Nennwirkungsgrad des Wärmeerzeugers |
| HEIZ_BETRIEB | Betriebsweise der Heizungsanlage |
| KONV_KOLL | Konversionsfaktor η_0 des Solarkollektors |
| K_EFF_KOLL | Kollektorkenngröße η_{eff} des Solarkollektors |
| N2O_SPEZ | spezifische N2O-Emissionen |
| NENN_NORM | Verhältnis Nennwärmeleistung zu Normwärmebedarf |
| NENN_ZAHL_WP | Leistungszahl der Wärmepumpe bei Nennleistungsbedingungen |
| NMKW_SPEZ | spezifische NMKW-Emissionen |
| NO2_SPEZ | spezifische NO2-Emissionen |
| SO2_SPEZ | spezifische SO2-Emissionen |
| STROM_KENNZ | Stromkennzahl des BHKW |
| TEMP_SP_WEN | Temperatur des Wärmespeichers für den nichtkonv. Wärmeerzeuger |
| TEMP_WP | Einsatzpunkt (Außentemperatur) der Wärmepumpe |
| T_LEBEN_WE | Lebensdauer Wärmeerzeuger |
| VOL_SP_WEN | Inhalt des Wärmespeichers für den nichtkonv. Wärmeerzeuger |
| WARTUNG_INST | Wartungskosten: Prozentsatz bez. auf Gesamtinvestition |
| WQUELLE_WP | Wärmequelle für die Wärmepumpe |
| W_HILF | Hilfsenergie (elektr.) |

Die aus der Verknüpfung der ersten drei Dateien resultierenden Werte werden in eine **Ergebnis-Datei** eingespielt. Auch diese untergliedert sich in eine Hauptdatei, die den schnellen Überblick über die wesentlichen Ergebnisse liefert (Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasser, Nutzungsgrad des Wärmeerzeugers, Emissionen, Gesamtkosten etc.), eine detailliertere Datei, die die auf die verschiedenen Anwendungs- (Heizung, Warmwasser) und Erzeugungsarten (konventionell, nichtkonventionell, zentral, dezentral) aufgeschlüsselten Ergebnisse enthält, sowie eine Wärmeerzeuger-Datei, in der die wesentlichen Eigenheiten der einzelnen Wärmeerzeuger (Nennleistung, Auslastung etc.) dargestellt sind.

In der Ergebnis-Datei kann nur eine begrenzte Anzahl an Verknüpfungen aus Gebäude, Bauphysik, Verteilung und Wärmeerzeuger enthalten sein, um den Umfang der Datenbank nicht zu sprengen. Der Anwender der Datenbank hat jedoch die Möglichkeit, neue Kombinationen mit Hilfe eines **menügeführten Tools** zu bilden und in der Datenbank abzuspeichern.

Reicht diese Auswahl nicht aus, weil z.B. das gewünschte Gebäude oder das gewünschte Heizsystem nicht in der Datenbank enthalten sind, so besteht die Option mit dem **Raumwärmemodell** der KFA-STE, das ebenfalls im Rahmen des IKARUS-Projektes in Zusammenarbeit mit TP 5 entwickelt wurde, neue Datensätze zu erzeugen.

Die in der Ergebnis-Datei abgelegten Daten dienen auch als Grundlage für die Optimierungsrechnung mit dem LP-Modell, das auf stark aggregierte Datensätze in einer Modelldatenbank zugreift. Dort sind bereits Modelldatensätze von TP 5 vorbelegt, die aus den vorhandenen Ergebnissen erzeugt wurden. Ein weiteres Tool soll dem Nutzer erlauben, seine selbst-erzeugten Ergebnisse in die Modelldatenbank zu transferieren.

Es sollte allerdings hier darauf hingewiesen werden, daß mit zunehmender Eigeninitiative des Nutzers auch zunehmende Sachkenntnis erforderlich ist, da andernfalls unsinnige oder falsche Verknüpfungen auch bei sorgfältiger Führung durch die Benutzeroberfläche der Datenbank nicht ausgeschlossen werden können.

Einen Auszug der eingesetzten Merkmale in der Ergebnis-Datei gibt die folgende Übersicht:

| Kurzbezeichnung | Langbezeichnung |
|-----------------|--|
| AV_VERHAELT | A/V-Verhältnis des Gebäudes |
| A_ENERBEZ_GB | Energiebezugsfläche des Gebäudes |
| A_HUELL | Hüllfläche des Gebäudes |
| A_NUTZ_GEB | Wohnfläche (Nutzfläche) des Gebäudes |
| AUSLAST_WE | Auslastung Wärmeerzeuger |
| A_KOLL_EFF | effektive Solarkollektorfläche (pro qm Wohnfläche) |

| | |
|--------------|--|
| BAUALTER | Baualtersgruppe des Gebäudes |
| BAUH_EIGENL | Eigenleistung: Prozentsatz bez. auf Gesamtinvestition |
| BAUKOSTEN_HZ | Baukosten für Heizraum |
| BAUKOSTEN_WW | Baukosten für Warmwasserbereitung |
| BAUSCHW_GRP | Bauschweregruppe des Gebäudes |
| BESBIT_KOST | Beseitigungskosten: Prozentsatz bez. auf Gesamtinvestition |
| CH4_SPEZ_A | spezifische CH ₄ -Emissionen pro qm Wohn-/ Nutzfläche |
| CO2_SPEZ_A | spezifische CO ₂ -Emissionen pro qm Wohn-/Nutzfläche |
| CO_SPEZ_A | spezifische CO-Emissionen pro qm Wohn-/ Nutzfläche |
| ETA_NENN | Nennwirkungsgrad des Wärmeerzeugers |
| ETA_WRG_MFE | Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung (Gesamtluftwechsel) |
| GEB_TYP | Gebäudetyp |
| HEIZ_BETRIEB | Betriebsweise der Heizungsanlage |
| INV_HEIZ_GES | Gesamtinvestition für die gesamten heiztechnische Maßnahmen |
| INV_HEIZ_ZUS | Investition für zusätzliche heiztechnische Maßnahmen (Umrüstung) |
| INV_HZ_VERT | Investition für Heizwärmeverteilung |
| INV_WAERMEER | Investition für Wärmeerzeuger (pro qm Wohnfläche) |
| INV_WSCH_DIF | Differenzinvestition Wärmeschutz bei Renovierung |
| INV_WSCH_GES | Gesamtinvestition für bauliche Wärmeschutzmaßnahmen |
| INV_WW_VERT | Investition f. Warmwasserverteilung incl. dez. Wärmeerzeuger |
| KM_WERT | km-Wert: mittlerer gewichteter k-Wert der Gebäudehülle |
| KOST_VAR | Variable Kosten: Prozentsatz bez. auf Gesamtinvestition |
| LUEFT_TRANSW | Verhältnis Lüftungs-/Transmissionswärmeverluste für Gebäude |
| LUFTWECHSEL | Luftwechsel (mittel pro Stunde, Fenster+ Lüftung) Standardfall |
| NO2_SPEZ_A | spezifische NO ₂ -Emissionen pro qm Wohn-/Nutzfläche |
| NUTZ_WE | Jahresnutzungsgrad Wärmeerzeuger |
| PERS | Durchschnittliche Personenbelegung pro qm Wohnfläche |
| P_HEIZ_NORM | Normwärme- (Auslegungswärmebedarf)(pro qmWohnfläche) |
| P_LUEFT | elektr. Anschlußleistung Lüftungsanlage |
| P_NENN | Nennleistung Wärmeerzeuger |
| SO2_SPEZ_A | spezifische SO ₂ -Emissionen pro qm Wohn-/Nutzfläche |
| STANDARD | Bauphysikalischer Standard des Gebäudes |
| STEUERN | Steuern: Prozentsatz bez. auf Gesamtinvestition |
| SUBVENTION | Subventionen: Prozentsatz bez. auf Gesamtinvestition |
| TEMP_TAG | Raumtemperatur (Gebäudemittel): Tagsoll (Standardfall) |
| TEMP_WW | Mittl. Warmwassertemperatur |
| TWD_ANTEIL | transparente Wärmedämmung: Anteil an Außenwand |
| T_BAU | Bauzeit |
| T_LEBEN_WT | Lebensdauer wärmetechnischen Maßnahme für das Gebäude |
| T_NACHTABS | Dauer der Nachtabstaltung/-absenkung |
| UMF_BEH | Beheizungsumfang (Standardfall) |
| VERSICHERUNG | Versicherung: Prozentsatz bez. auf Gesamtinvestition |
| VERT_JAHR | Statusjahr der Wärmeverteilung |
| VOL_NETTO | Nettorauminhalt des Gebäudes |
| WARTUNG_INST | Wartungskosten: Prozentsatz bez. auf Gesamtinvestition |
| WE_JAHR | Statusjahr des Wärmeerzeugers |
| WIGA_VERHAEL | Wintergarten: Verhältnis WIGA Grundfläche zu Wohnfläche |
| WV_STANDARD | Standard der Wärmeverteilung |
| WW_BEDARF | Mittl. Warmwasserbedarf pro Person pro Tag |
| W_GEW_INT | Jährliche Wärmegewinne intern (pro qm Wohnfläche) |
| W_GEW_VERL | Verhältnis Wärmegewinne / Wärmeverluste für Gebäude |
| W_HEIZ_BRUTT | Gesamtjahreswärmebedarf brutto systemspezifisch |
| W_HEIZ_JAHR | Jahresheizwärmebedarf netto Standard (pro qm Wohnfläche) |
| W_HEIZ_REAL | Jahresheizwärmebedarf netto systemspez. (pro qm Wohnfläche) |
| W_HILF_HZ | Hilfsenergie (Strom) Heizung (pro qm Wohnfläche) |
| W_HILF_LUEFT | Hilfsenergie (Strom) Lüftung (pro qm Wohnfläche) |
| W_HILF_WE | Hilfsenergie (Strom) Wärmeerzeuger (pro qm Wohnfläche) |
| W_HILF_WW | Hilfsenergie (Strom) Warmwasserbereitung (pro qm Wohnfläche) |

| | |
|--------------|---|
| W_VERL_HZ | Nettoverteilungsverluste Heizungssystem (pro qm Wohnfläche) |
| W_VERL_WW | Nettoverteil.verluste Warmwassersystem incl. dez. Wärmeerz. |
| W_WW_JAHR | Jahreswarmwasserwärmebedarf netto |
| W_END_JAHR | Jahresendenergiebedarf Wärmeerzeuger pro qm Wohnfläche |
| W_STRÖM_JAHR | Jährliche Nettostromerzeugung des BHKW pro qm Wohnfläche |

Weitgehend unabhängig von der Raumwärme wird eine **Haushaltsgeräte-Datei** für die energetischen Kennwerte der Haushaltsgeräte angelegt. Dreizehn verschiedene Haushaltstypen sind jeweils in 3 Versionen (Mittlerer, hoher und niedriger Verbrauch) für die Statusjahre 1989, 2005 und 2020 mit folgenden Merkmalen abgelegt:

| Kurzbezeichnung | Langbezeichnung |
|-----------------|---|
| AUSLAST | Auslastung |
| CH4_SPEZ | spezifische CH4-Emissionen |
| CO2_SPEZ | spezifische CO2-Emissionen |
| HH_GROESSE | Haushaltsgröße |
| INVESTITION | Anschaffungskosten des Gerätes |
| SAETTIGUNG | Sättigungsgrad dieses Gerätes bezogen auf alle Haushalte des Gebietes |
| STATUSJAHR | Statusjahr |
| T_LEBEN | Lebensdauer <Ökonomisch> |
| W_GAS | Jährlicher Gasbedarf des Gerätes |
| W_STROM | Jährlicher Strombedarf des Gerätes |
| W_WARMWASSER | Jährlicher Warmwasserbedarf des Gerätes |

Eine **Rahmendatei** schließlich liefert die Bestandsgrößen der Typgebäude, der Heizungs-systeme und der Haushaltsgeräte.

8. Schlußfolgerungen und Ausblick

Aufgabe von Teilprojekt 5 in der ersten Phase des IKARUS-Projektes war die Beschaffung von energierelevanten Daten in den Sektoren Haushalte und Kleinverbraucher. Mit Hilfe dieser Daten sind Energieeinsparmaßnahmen in den genannten Sektoren hinsichtlich ihrer Kosteneffizienz und Klimarelevanz (Emissionen) beurteilt worden. Die Daten sind in die **FIZ-Datenbank (ORACLE)** eingespeichert und stehen dem Nutzer zur Verfügung. Für das **LP-Modell** der KFA-STE sind die LP-Daten für die Jahre 1989 und 2005 (Alte und Neue Bundesländer) sowie für das Jahr 2020 (Gesamtdeutschland) für Optimierungsberechnungen erarbeitet worden. Erste Modellläufe konnten von KFA-STE erfolgreich abgeschlossen werden.

Weiterhin ist dem Nutzer ein Tool an die Hand gegeben, mit dem er eigene Verknüpfungen des Energiesystems Gebäude und Heizung durchführen kann. Dabei werden energetische, ökonomische und emissionsmäßig relevante Kenngrößen ermittelt und in die Datenbank eingespeist.

Ein Tool, mit dem aus diesen Ergebnissen die LP-Modelldaten für die Optimierung und für Kettenvergleiche erstellt werden können, wird in Kürze in die Datenbank eingebunden.

Sowohl diese Tools als auch das von FIZ programmierte benutzerfreundliche Retrieval für die Datenbank müssen noch einem umfangreichen Funktionstest unterzogen werden. Dies soll im Anschluß mit dem Projekt "IKARUS-Anwendung" erfolgen.

Eine weitere Aufgabe des Projektes "IKARUS-Anwendung" wird die inhaltliche Erweiterung der Datenbank sein. Vor allem soll das Basisjahr 1989 später durch das Jahr 1995 ersetzt werden. Die Grundlagen hierfür sind gelegt, so daß die neuen Daten, sobald sie vorhanden sind, in die bestehenden Strukturen aufgenommen werden können. Dies betrifft auch Daten, die aufgrund von Hinweisen der Nutzer oder eigenen neuen Erkenntnissen gewonnen werden.

Schließlich soll das **Teilmodell Raumwärme** der KFA-STE an das übrige Modellinstrumentarium, d.h. an die FIZ-Datenbank und das LP-Modell, angepaßt und angekoppelt werden. Hierfür sind noch eingehende Absprachen zwischen TP 5 und TP 1 erforderlich.

9. Literaturverzeichnis

- /Bach, 1993/ W. Bach, C. Bonhoff, T. Luther
Entwicklung eines integrierten Energiekonzeptes: Erfassung des Emissions-Reduktionspotentials klimawirksamer Spurengase im Bereich rationeller Energienutzung für die alten Bundesländer
Anhang 1: Sektor Haushalte, Universität Münster, Abt. f. Klima- und Energieforschung, November, 1993
- /Balkow, 1990/ Balkow u.a., Vegla GmbH,
Glas am Bau
Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart, 1990
- /Bauakademie, 1990/ Bauakademie der DDR
Gebäudeatlas - Mehrfamilienwohngebäude der Baujahre 1880 bis 1980
Verlag Bauinformation, Berlin 1990
- /Biasin, 1993/ Biasin, RWE, persönliche Unterlagen
- /CEN,1991;ISO 9164,1989/ Comité Européen de Standardisation, CEN
CEN TC89/WG 4
Thermal Performance of Buildings-
Calculation of Energy Use for Heating
Entwurf, Oktober 1991, Brüssel
- /Energiebilanz 1989/ Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke mbH -VWEW,
Frankfurt, 1989
- /Energiebilanz, 1990/ Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen
Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke mbH -VWEW,
Frankfurt, 1990
- /Enquete, 1990, S.84/ Enquêtekommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre"
Emissionsminderung durch rationelle Energienutzung im Raumwärmebereich
Studienschwerpunkt A.1.2, S. 84, 1990

- /Enquête, 1993/ Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages
 "Schutz der Erdatmosphäre"
 Gemeinsames Analyseraster Version 2.1, April 1993
- /FfE, 1992/ Pfitzner, G.; Schäfer, V.
 Berechnung von Heizungssystemen in Wohnbauten "Solarkollektoren zur Warmwasserbereitung"
 Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, November 1992, IKARUS-Bericht TP 5-16
- /FfE, 1993a/ Pfitzner, G.; Schäfer, V.
 Berechnung von Heizungssystemen in Wohnbauten "Konventionelle Wärmeerzeuger"
 Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, November 1993, IKARUS-Bericht TP 5-25
- /FfE, 1993b/ Pfitzner, G.; Schäfer, V.
 Berechnung von Heizungssystemen in Wohnbauten "Blockheizkraftwerke"
 Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, September 1993, IKARUS-Bericht TP 5-26
- /FfE, 1993c/ Pfitzner, G.; Schäfer, V.
 Berechnung von Heizungssystemen in Wohnbauten "Wärmepumpen"
 Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, 1993, IKARUS-Bericht TP 5-27
- /FfE, 1993d/ Bressler, G.; Immel, G.
 Ermittlung von Heizungs- und Warmwasserbereitungssystemen inklusive deren Verteilungsverluste in Nichtwohngebäuden
 Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, 1993
 IKARUS-Bericht TP 5-19
- /FfE, 1993-1994/ siehe /FfE, 1992/, /FfE, 1993a/, /FfE, 1993b/, /FfE, 1993c/, /FfE, 1993d/, /FfE, 1994/

- /FfE, 1994/ Pfitzner, G.
Berechnung von Heizungssystemen in Wohnbauten "Wärmeverteilung"
Forschungsstelle für Energiewirtschaft, München, 1994,
IKARUS-Bericht TP 5-30
- /Flachglas, 1992/ Flachglas AG, Abt. Anwendungstechnik Bau
Glashandbuch 1992
- /Geiger, u.a./ Geiger, B., Kleeberger, H., Dähnis P.:
Methodik zur Strukturentwicklung und Prognose des Haushaltsstromverbrauchs. In: Unveröffentlichte Programmstudie Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik, TU München
- /Geiger, u.a., 1982/ Geiger, B.; Wenzl, B.
Heizungen im Vergleich
3. überarbeitete Auflage
München, Oktober 1982
- /Geiger, 1991/ Geiger, B.
Struktur und Analyse des Energieverbrauchs im Kleinverbrauch der BRD und DDR als Ausgangspunkt für die Verbrauchsentwicklung in den alten und neuen Bundesländern
IKARUS-Bericht TP 5-03, München, 1991
- /Geiger, u.a., 1991/ Geiger, B.; Lueg, R.
Senkung energiebedingter klimarelevanter Emissionen in Mitteleuropa durch Beeinflussung der Energieumwandlungs-, Verteilungs- und Bedarfsstrukturen in beiden deutschen Staaten
Zwischenbericht für die "Stiftung Wald in Not"
München, Juni 1991
- /Geiger, u.a., 1992/ Geiger, B., Kleeberger, H.:
Strukturentwicklung des Haushaltsstromverbrauchs- Methodik und praktische Ergebnisse. In: Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Heft 1/2, 1992, S. 24 -30

- /Geiger, u.a., 1993a/ Geiger, B., Kleeberger, H.:
Beleuchtungsstromverbrauch im Haushalt und Prognose. In:
Unveröffentlichte Programm- Studie, Lehrstuhl für Energie-
wirtschaft und Kraftwerkstechnik, TU München, 1993
- /Geiger, u.a., 1993b/ Geiger, B.; Kleeberger, H.; Brunner, T.; Köppl, M.
Analyse, Synthese und Entwicklung des Stromverbrauchs im
Sektor Haushalt der BRD, München, 1993,
IKARUS-Bericht TP 5-20
- /GEMIS, 1992/ Fritsche, U.; Leuchtner, J.; Matthes, F.; Rausch, L.; Simon,
K.
Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme Version 2.0
Endbericht im Auftrag des Hess. Umweltministeriums
Wiesbaden, 1993, ISBN 3-89274-077-1
- /Götschel, u.a., 1989/ Götschel, U., Geiger, B.:
Messtechnische Analyse des energetischen Betriebsverhaltens
von Waschvollautomaten und Geschirrspülern bei Anschluß an
Warmwasserversorgungssysteme, Forschungsstelle für Energie-
wirtschaft, 1989
- /Gruson, 1992/ Gruson, C., Kerschberger, A., Kostenermittlung für wärme-
technische Maßnahmen an der Gebäudehülle, Bericht TP
5.10.1 im Rahmen des IKARUS-Projekts, Juli 1992
- /Gülec, u.a., 1993/ Gülec, T.; Kolmetz, S., Rouvel, L.,
Nutzenergiebedarf für Raumwärme in der Bundesrepublik
Deutschland (alte und neue Bundesländer, 1989),
Bericht TP 5-11 im Rahmen des IKARUS-Projekts, November
1992
- /Hauser, 1990/ G. Hauser (GH Kassel)
Vortragsunterlagen: "Instandsetzung und Modernisierung des
Gebäudebestandes in den neuen Bundesländern - weitere Ent-
wicklung des Fertigbaus"
Berlin, Juni 1991, veranstaltet von BMBau

- /Heizkostenvergleich, 1990/ Layer, G.T.; Pfitzner, G.; Geiger, B.
 Heizkostenvergleich 1990
 Forschungsstelle für Energiewirtschaft
 München, April 1990
- /Hofer, 1992/ Hofer, R.:
 Vorteile und Grenzen des Warmwasseranschlusses von Wasch-
 und Geschirrspülmaschinen. In: Energiehaushalten und CO₂-
 Minderung, VDI-Bericht 944, 1992
- /IBP, 1992a/ Institut für Bauphysik, IBP Holzkirchen
 Werner, H.
 Programmbeschreibung zur Berechnung des Jahresheizwärme-
 bedarfs nach ISO 9164 und CEN/TC89
 Holzkirchen, 1992
 IKARUS-Bericht TP 5-08, März 1992
- /IBP, 1992b/ Institut für Bauphysik, IBP Stuttgart
 Reiß, J.; Erhorn, H.
 Stand und Tendenzen der Neubautätigkeit in Deutschland
 Stuttgart, 1992
 IKARUS-Bericht TP 5-13, Oktober 1992
- /IE, 1991/ Institut für Energetik, IE Leipzig
 Lindner, K., Lindner, E., Zehrfeld, U.
 Analyse des Ist-Zustandes der Heizungssysteme zur Wohnra-
 umheizung der ehemaligen DDR und Möglichkeiten zur Ablö-
 sung der Kohleheizung
 Leipzig, 1991
 IKARUS-Bericht TP 5-04, Dezember 1991
- /IHLGB, 1991/ Institut für Lüftung, Heizung und Grundlagen der Bautechnik,
 IHLGB Berlin
 Rosin, R.; Glitz, P.; Borges, H.; Lorenz, G.
 Gebäudetypologie und spezifischer Energiebedarf für den Woh-
 nungsbestand in den neuen Bundesländern
 Berlin, 1991
 IKARUS-Bericht TP 5-06, November 1991

- /Interpane, 1990/ Interpane Lauenförde
Gestalten mit Glas, 1990
- /IWU, 1991/ Ebel, W.; Eicke, W.; Feist, W.; Gabler, W.
Dokumentation der Referenzgebäude
Institut Wohnen und Umwelt, IWU Darmstadt
Darmstadt, 1991, Unveröffentlichter Bericht TP 5.02.1, Oktober 1991
- /Kolmetz, u.a., 1992/ Kolmetz, S., Rouvel, L.,
Gebäude und Beheizungsstruktur (Wohngebäude) in den alten Bundesländern (Sonderauswertung auf der Grundlage von Daten des Statistischen Bundesamtes Wiesbaden aus der Volkszählung 1987),
IKARUS-Bericht TP 5-07 im Rahmen des IKARUS-Projekts, November 1992
- /Marktforschung, 1992/ Marktforschung Elektrizitätsanwendung
Haushaltskundenbefragung 1991
Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke -VDEW- e.V.
Frankfurt, Mai 1992
- /MBau, 1990/ Ministerium für Bauwesen, Städtebau und Wohnungswirtschaft der DDR
"Ausgewählte statistische Angaben zum Gebäude- und Wohnungsbestand der DDR", Berlin, April 1990
- /Pichert, 1991/ Pichert, H.: Kriterien der Gebrauchstauglichkeit, Haushaltstechnik TU München, August 1991
- /Prognos, 1992/ Prognos-Institut, Basel
Eckerle, K.; Hofer, P.; Masuhr, K.P.
Die energiewirtschaftliche Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2010 unter Einbezug der fünf neuen Bundesländer
Basel, Januar 1992, Proj. Nr. 561/3720
- /Recknagel, u.a., 1987/ Recknagel, H.; Sprenger, E.; Hönnmann, W.
Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 88/89
R. Oldenbourg Verlag, München 1987

- /Rouvel, 1984/ Rouvel, L.
Wärmegewinne in Wohnungen aufgrund innerer Wärmequellen
Gesundheits-Ingenieur, 105 (1984), Heft 3, S.140/142
- /RWE, 1989/ RWE-Energie Bau-Handbuch, 10. Ausgabe, 1989
- /Schaefer, 1980, S.66/ H. Schaefer
Struktur und Analyse des Energieverbrauchs der Bundesrepublik Deutschland
Technischer Verlag Resch KG, Gräfelfing, München, 1980
- /Stat. Jahrbuch, 1994/ Statistisches Jahrbuch 1994
Metzler-Poeschl Verlag, Stuttgart, 1994
- /StBa, 1987-1990/ Statistisches Bundesamt, Fachserie 5, Reihe 1, Ausgaben 1987-1990
5.3 Abgang von Wohn- und Nichtwohngebäuden nach Gebäudearten und Baualter
Metzler-Poeschel-Verlag, Stuttgart
- /StBA, 1990/ Statistisches Bundesamt Wiesbaden
Statistisches Jahrbuch 1990, S.217
Metzler-Poeschel-Verlag, Stuttgart, 1990
- /VDI, 1992/ Fink, M.; Hensen, H.
Heizenergieverbrauch von Wohnungen
Schlußbericht zum Forschungsprojekt des BMBau, Techem GmbH, Frankfurt a.M., Februar 1992

Anhang - Liste der von TP 5 im Rahmen von IKARUS erstellten Berichte

Kolmetz, S.; Rouvel, L.

Erster Zwischenbericht

München, 1991

IKARUS-Bericht TP 5-01

Institut Wohnen und Umwelt, IWU Darmstadt

Ebel, W., Eicke, W., Feist, W., Gabler, W.

Dokumentation der Referenzgebäude

Darmstadt, 1991

IKARUS-Bericht TP 5-02

Geiger, B.

Struktur und Analyse des Energieverbrauchs im Kleinverbrauch der BRD und DDR als Ausgangspunkt für die Verbrauchsentwicklung in den alten und neuen Bundesländern

München, 1991

IKARUS-Bericht TP 5-03

Institut für Energetik, IE Leipzig

Lindner, K., Lindner, E., Zehrfeld, U.

Analyse des Ist-Zustandes der Heizungssysteme zur Wohnraumheizung der ehemaligen DDR und Möglichkeiten zur Ablösung der Kohleheizung, Leipzig, 1991

IKARUS-Bericht TP 5-04

Gesellschaft für wirtschaftliche Energienutzung, GwE Leipzig

Sonntag, P.

Kennwerte zur Charakterisierung und Bewertung des energetischen Zustandes und des Energieverbrauchs der Gebäude im Nichtwohnbereich, Leipzig, 1992

IKARUS-Bericht TP 5-05

Institut für Lüftung, Heizung und Grundlagen der Bautechnik, IHLGB Berlin

Rosin, R., Glitz, P., Borges, H., Lorenz, G.

Gebäudetypologie und spezifischer Energiebedarf für den Wohnungsbestand in den neuen Bundesländern, Berlin, 1991, IKARUS-Bericht TP 5-06

Kolmetz, S., Rouvel, L.

Gebäude- und Beheizungsstruktur (Wohngebäude) in den alten Bundesländern

München, 1992

IKARUS-Bericht TP 5-07

Institut für Bauphysik, IBP Holzkirchen

Werner, H.

Programmbeschreibung zur Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs nach ISO 9164 und

CEN/TC89, Holzkirchen, 1992

IKARUS-Bericht TP 5-08

Kolmetz, S.; Rouvel, L.

Algorithmen für ein Interface zwischen FIZ-Datenbank und LP-Modell für das Teilprojekt 5,

Bereich HAUSHALTE, München, 1992

IKARUS-Bericht TP 5-09

Gruson, C.; Kerschberger, A.

Kostenermittlung für wärmetechnische Maßnahmen an der Gebäudehülle

Stuttgart, 1992

IKARUS-Bericht TP 5-10

Kolmetz, S.; Rouvel, L.

Nutzenergiebedarf für Raumwärme in der Bundesrepublik Deutschland

(alte und neue Bundesländer, 1989), München, 1992,

IKARUS-Bericht TP 5-11

Kolmetz, S.; Rouvel, L.

Energieverbrauch öffentlicher Liegenschaften in der Bundesrepublik Deutschland

(alte Bundesländer, 1989), München, 1992

IKARUS-Bericht TP 5-12

Institut für Bauphysik, IBP Stuttgart

Reiß, J., Erhorn, H.

Stand und Tendenzen der Neubautätigkeit in Deutschland

Stuttgart, 1992, IKARUS-Bericht TP 5-13

Institut für Bauphysik, IBP Stuttgart

Gierga, M., Erhorn, H.

Bestand und Typologie beheizter Nichtwohngebäude in West Deutschland, Stuttgart, 1992,
Dezember, 1992

IKARUS-Bericht TP 5-14

Kolmetz, S.; Rouvel, L.

Zweiter Zwischenbericht

München, 1992

IKARUS-Bericht TP 5-15

Forschungsstelle für Energiewirtschaft, FfE München

Pfützner, G.; Schäfer, V.

Berechnung von Heizsystemen in Wohnbauten. Solarkollektoren zur Warmwasserbereitung
München, 1992

IKARUS-Bericht TP 5-16

Institut für Energetik, IE Leipzig

Lindner, K.

Kurzstudie zu den Kosten und Energieeinsparungen bei der Raumheizung in den neuen
Bundesländern, Leipzig, 1992,

IKARUS-Bericht TP 5-17

Gruson, C.

Kostenermittlung für wärmetechnische Maßnahmen an der Gebäudehülle bei Nichtwohnge-
bäuden, Stuttgart, 1993

IKARUS-Bericht TP 5-18

Forschungsstelle für Energiewirtschaft, FfE München

Bressler, G.; Immel, G.

Ermittlung von Heizungs- und Warmwasserbereitungssystemen inklusive deren Verteilungs-
verluste in Nichtwohngebäuden, München, 1993

IKARUS-Bericht TP 5-19

Geiger, B.; Kleeberger, H.; Brunner, T.; Köppl, M.;

Analyse, Synthese und Entwicklung des Stromverbrauchs im Sektor Haushalt der BRD
München, 1993

IKARUS-Bericht TP 5-20

Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken, IEMB Berlin

Rosin, R., Glitz, P., Borges, H., Lorenz, G.

Untersuchungen zum Bestand "Sonstiger Gebäude" in den neuen Bundesländern
Berlin, 1993

IKARUS-Bericht TP 5-21

Kolmetz, S.; Rouvel, L.

Energieeinsparpotential im Gebäudebestand durch Maßnahmen an der Gebäudehülle
München, 1994

IKARUS-Bericht TP 5-22

Zimmermann, F.

Kostenermittlung für raumluftechnische Anlagen

Heilbronn, 1993

IKARUS-Bericht TP 5-23

Kolmetz, S.; Rouvel, L.

Dritter Zwischenbericht, Teil 1 - Haushalte und raumwärmeintensiver Kleinverbrauch
München, 1994

IKARUS-Bericht TP 5-24

Bradke, H.; u.a.

Dritter Zwischenbericht, Teil 2 - Prozeßwärmeintensiver Kleinverbrauch
München, 1994

IKARUS-Bericht TP 5-24

Forschungsstelle für Energiewirtschaft, FfE München

Pfützner, G.; Schäfer, V.

Berechnung von Heizungssystemen in Wohnbauten - Konventionelle Wärmeerzeuger
München, 1994, IKARUS-Bericht TP 5-25

Forschungsstelle für Energiewirtschaft, FfE München

Pfützner, G.; Schäfer, V.

Berechnung von Heizungssystemen in Wohnbauten - Blockheizkraftwerke

München, 1994

IKARUS-Bericht TP 5-26

Forschungsstelle für Energiewirtschaft, FfE München

Pfützner, G.; Schäfer, V.

Berechnung von Heizungssystemen in Wohnbauten - Wärmepumpen

München, 1994

IKARUS-Bericht TP 5-27

Kolmetz, S.; Ostermeier, U.; Rouvel, L.

Endenergiebedarf der Privaten Haushalte für Raumheizung und Warmwasserbereitung in der Bundesrepublik Deutschland, München, 1994

IKARUS-Bericht TP 5-28

Kolmetz, S.; Rouvel, L. - TUM; G. Bressler - FfE; E. Jochem - ISI

Nachfragevektoren in den Sektoren Haushalt und Kleinverbraucher

München, 1995

IKARUS-Bericht TP 5-29

Forschungsstelle für Energiewirtschaft, FfE München

Pfützner, G.; Schäfer, V.

Berechnung von Heizungssystemen in Wohnbauten - Heizungs- und Warmwasserverteilung

München, 1994

IKARUS-Bericht TP 5-30

Kolmetz, S.; Ostermeier, U.; Rouvel, L.

Der Energiebedarf raumlufttechnischer Anlagen in Nichtwohngebäuden (Lüftung, Kühlung, Klimatisierung), München, 1995

IKARUS-Bericht TP 5-31

Monographien des Forschungszentrums Jülich

- 1 Pharmakologische Untersuchungen in vitro –
Alternativen zum Tierversuch
E. Weber (Hrsg.) (1990)
- 2 Ozon in Deutschland
Die Belastung durch Ozon in ländlichen Gebieten
im Kontext der neuartigen Waldschäden
D. Kley, H. Geiss, T. Heil, Ch. Holzapfel (1990)
- 3 Risiko-Konzepte
Risiko-Konflikte
Risiko-Kommunikation
H. Jungermann, B. Rohrmann und P.M. Wiedemann (Hrsg.) (1990)
- 4 Energiequellen und Energietechnik
M. Pollermann, W. Litzow (1991)
- 5 Neue Energieträger für den Verkehr
Methanol und Alkoholgemische
B. Höhle (1991)
- 6 Computergestütztes "Molecular Modelling"
Alternativen zum Tierversuch
E. Weber (Hrsg.) (1991)
- 7 Information und Kommunikation
in der naturwissenschaftlich-technischen Forschung
Haben wir die richtigen Bibliothekskonzepte?
E. Lapp, W. Neubauer (1992)
- 8 Fortschritte in der Energietechnik für eine wirtschaftliche,
umweltschonende und schadensbegrenzende Energieversorgung
K. Kugeler, H. Neis, G. Ballensiefen (Hrsg.) (1993)
- 9 Die CO₂-Problematik
Sachverhalte, Zusammenhänge, Hypothesen, Argumente
herausgegeben von H. Neis (1993)
- 10 Das Klimasystem unserer Erde
Ch. Holzapfel (1994)
- 11 Ohne Energie geht nichts
M. Pollermann, W. Litzow (1995)
- 12 Der Schutz der Meere in der internationalen Politik
Nachhaltige Entwicklung und die Ozeane
W. Fischer (1995)

Monographien des Forschungszentrums Jülich

- 13 Computergestützte Analyse energiebedingter Klimagasreduktionsstrategien
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 1 „Modelle“
J.-Fr. Hake, R. Heckler, Ch. Holzapfel, P. Jagodzinski, H. Kollmann,
W. Kuckshinrichs, P. Markewitz, D. Martinsen, D. Müller, M. Walbeck
(voraussichtlich 1995)
- 14 IKARUS-Datenbank – Ein Informationssystem zur technischen,
wirtschaftlichen und umweltrelevanten Bewertung von Energietechniken
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 2 „Datenbank“
H.-J. Laue, K.-H. Weber, J. W. Tepel
(voraussichtlich 1995)
- 15 Fossile Energieträger und erneuerbare Energiequellen
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 3 „Primärenergie“
J. Diekmann, M. Horn, P. Hrubesch, B. Praetorius, F. Wittke, H.-J. Ziesing (1995)
- 16 Energieumwandlungstechniken als Elemente von Minderungsstrategien
energiebedingter Klimagasemissionen
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 4 „Umwandlungssektor“
U. Fahl, D. Herrmann, A. Voß (1995)
- 17 Energieverbrauchsstrukturen im Sektor Haushalte
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 5 „Haushalte und Kleinverbraucher“,
Sektor „Haushalte“
S. Kolmetz, L. Rouvel (1995)
- 18 Energieverbrauchsstrukturen im Sektor Kleinverbraucher
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 5 „Haushalte und Kleinverbraucher“,
Sektor „Kleinverbraucher“
S. Kolmetz, L. Rouvel, G. Bressler, W. Megele, H. Bradke, E. Jochem, D. Köwener,
M. Patel (1995)
- 19 Hauptbericht Industrie – Energieeffizienzpotentiale, Produktstrukturwandel
und Produktionsentwicklungen bis 2020
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 6 „Industrie“
H. Bradke, W. Eichhammer, E. Jochem, M. Patel
(voraussichtlich 1995)

- 20 Klimagasrelevante Energie- und Kostenstrukturen im Straßen-, Schienen-,
Schiffs- und Luftverkehr
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 7 „Verkehr“
J. Brosthaus, R. Kober, W.-R. Müller, H. Waldeyer (1995)

- 21 Querschnittstechniken – Sektor und branchenübergreifende Techniken
zur Energieumwandlung
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 8
„Querschnittstechniken“
H. Schaefer, V. Schäfer (1995)

- 22 Vereinbarungen zum Klimaschutz – das Verifikationsproblem
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Abschlußbericht Teilprojekt 9 „Verifikation“
W. Fischer, H.-J. Hoffmann, W. Katscher, U. Kotte, W.-D. Lauppe, G. Stein (1995)

- 23 Energiestrategien für den Klimaschutz in Deutschland –
Das IKARUS-Instrumentarium
IKARUS. Instrumente für Klimagas-Reduktionsstrategien
Zusammenfassender Abschlußbericht
H.-J. Hoffmann, W. Katscher, G. Stein
(voraussichtlich 1995)

ISBN 3-89336-158-8